



TUGAS AKHIR - EE 184801

**KLASIFIKASI POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA
ISOLASI CAIR DAN ISOLASI UDARA DENGAN
MENGUNAKAN ANTENA**

Baasith Akbar Felayati
NRP 07111440000066

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**PATTERN CLASSIFICATION OF *PARTIAL DISCHARGE*
IN LIQUID INSULATION AND AIR INSULATION USING
ANTENNA**

Baasith Akbar Felayati
NRP 07111440000066

Advisors
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "**Klasifikasi Pola *Partial discharge* pada Isolasi Cair dan Isolasi Udara Dengan Menggunakan Antena**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 22 Januari 2019



Baasith Akbar Felayati

NRP. 07111440000066

**KLASIFIKASI POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA
ISOLASI CAIR DAN ISOLASI UDARA DENGAN
MENGGUNAKAN ANTENA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP. 197007121998021001

Dosen Pembimbing II



Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002



KLASIFIKASI POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI CAIR DAN ISOLASI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN ANTENA

Nama : Baasith Akbar Felayati
Pembimbing I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Pembimbing II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Partial discharge (PD) merupakan suatu fenomena yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi berupa peluahan sebagian yang menghubungkan dua elektroda terpisah. *Partial discharge* (PD) dapat menyebabkan penurunan kualitas isolasi, penuaan (*aging*) dan berpotensi merusak peralatan listrik. *Partial discharge* dapat terjadi pada isolasi cair dan udara. *Partial discharge* yang dihasilkan pada isolasi cair dan udara akan dideteksi dengan metode UHF dan *leakage current*. Pengujian dilakukan pada isolasi cair dan udara berskala laboratorium menggunakan antena *microstrip* pada *bandwidth Ultra high frequency* (UHF). Elektroda yang digunakan adalah elektroda *point to plane* (jarum ke datar) dengan variasi jarak 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm. Pemilihan elektroda tersebut karena ketidakseragaman persebaran medan yang tinggi sehingga adanya aktivitas *partial discharge* lebih mudah terdeteksi. Pembangkit yang digunakan bertipe AC dengan frekuensi antena sebesar 2.4 GHz. Sinyal diambil dengan menggunakan peralatan akuisisi yaitu *ultra high frequency* (UHF). Data yang diambil akan diolah sehingga menampilkan *Phase Resolved Partial discharge* (PRPD). Hasil yang telah diolah akan dianalisa karakteristik pengaruh bahan dan jarak elektroda terhadap metode deteksi dengan antena *microstrip*. Hasil pengujian didapatkan bahwa pengaruh jarak antar elektroda dan jenis media isolasi mempengaruhi pola *partial discharge*.

Kata Kunci : *Phase Resolved Partial discharge*, Arus bocor , Antena Mikrostrip, *Ultra high frequency*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

***PATTERN CLASSIFICATION OF PARTIAL DISCHARGE IN
LIQUID INSULATION AND AIR INSULATION USING
ANTENNA***

Name : Baasith Akbar Felayati
Advisor I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Advisor II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Partial discharge (PD) is a phenomenon happened in high voltage equipment when pre-breakdown condition. This condition connected two electrodes which should be separated. Partial discharge causing degradation quality of transformer and high voltage circuit breaker. The damage occurs because breakdown voltage will occur after PD and will generate heat, arc and carbonization. Partial discharge can occur in liquid insulation and air insulation. Tests are carried out on laboratory scale air and oil insulation using microstrip antennas on Ultra high frequency (UHF) bandwidth. The electrode used is the electrode point to plane (needle to flat) with variations in distance of 1 cm, 1.5 cm and 2 cm. The electrode selection is due to the high uniformity of field spread so that partial discharge activity is more easily detected. The plant used is an AC type with an antenna frequency of 2.4 GHz. The signal is taken using an acquisition equipment, an oscilloscope. The data taken will be processed so that it displays the Phase Resolved Partial discharge (PRPD). The processed results will be analyzed for the effect characteristics of the material and the distance of the electrode to the detection method with the microstrip antenna. The experiment results that the effect of the distance between the electrodes and the type of insulation media affected the PD pattern.

Keyword : Phase Resolved Partial discharge, Leakage current , Microstrip Antenna, Ultra high frequency

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunianya dalam penyelesaian laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi syarat kelulusan di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Adapun judul tugas akhir yang penulis buat ialah **Klasifikasi Pola *Partial discharge* pada Isolasi Cair dan Isolasi Udara Dengan Menggunakan Antena.**

Dalam proses penyusunannya penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT karena telah memberikan kelancaran dan keselamatan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dari penulis yang selalu memberikan dukungan terbaiknya untuk penulis, baik dalam hal materil maupun non-materil serta doa yang selalu beliau panjatkan untuk kelancaran perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
3. Saudara-saudara yang selalu memberikan dukungan moral dan lainnya, Rizqi Prayogo Pangestu dan Jabal Thareq Samudra
4. Bapak I Made Yulistya Negara selaku dosen pembimbing pertama dari laporan tugas akhir yang penulis tempuh dimana selalu memberikan dukungan, bimbingan dan pendampingan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Eko Setijadi selaku dosen pembimbing kedua dari laporan tugas akhir yang selalu membimbing dan mendampingi penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
6. Cindy Alicia Sahara, yang selalu ada untuk memberi *support* dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman yang selalu membantu penulis dalam hal-hal Teknis maupun non teknis dalam penulisan tugas akhir yaitu Hadi Lizikri Al-Azmi S.T, mas Arief, mas Fahmi, mas Fannus dan PrasetyoTri Anggoro.
8. Teman-teman yang selalu ada ketika susah dan senang yang selalu memberi arti hidup bahwa hidup harus selalu senang dan tidak perlu khawatir ketika sulit karena selalu ada teman yang menemani, Shandika Rengganis, Novrizal Adam, Ryan Mardiansyah dan Faza Ghani Yasifa

9. Teman-teman yang selalu menemani penulis sampai pagi di laboratorium tegangan tinggi yaitu Mas Adit, Mas Ikhlas, Restu Wicaksono dan Dhanang Tri Laksono.
10. Teman-teman keluarga laboratorium tegangan tinggi terutama bagi yang seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman-teman HUBLU BEM ITS 2016/2017 dan HUBLU BEM ITS 2017/2018.
12. Keluarga besar e54 yang selalu sedia memberikan dukungan dan bantuan sejak awal penulis kuliah hingga saat penulis menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir yang penulis tulis masih jauh dari kata sempurna.

Surabaya, 22 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Relevansi	7
BAB II PARAMETER ANTENA, FENOMENA <i>PRE-BREAKDOWN</i> PADA ISOLASI CAIR DAN UDARA.....	9
2.1 Media Isolasi.....	9
2.1.1 Isolasi Cair	9
2.1.2 Isolasi Udara	10
2.2 Kekuatan Dielektrik	11
2.3 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair.....	12
2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Udara.....	13
2.5 <i>Ultra high frequency (UHF)</i>	13
2.6 Antena <i>Microstrip</i>	14
2.7 Parameter Antena.....	15
2.7.1 <i>Return loss</i>	16
2.7.2 <i>Scattering parameter</i>	17
2.7.3 <i>VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)</i>	18
2.7.4 <i>Bandwidth</i>	19
2.7.5 <i>Gain</i>	20
2.7.6 Pola Radiasi	20
2.8 Kegagalan pada Medan Non-Homogen.....	22
2.9 Teori Kegagalan Elektronik.....	23

BAB III	ALAT PENGUJIAN DAN METODE	
	PENGAMBILAN DATA	25
3.1	Alat Pengujian.....	25
3.1.1	Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	26
3.1.2	Isolasi dan Elektroda Uji.....	27
3.1.3	Resistor dan <i>Surge Arrester</i>	28
3.2	Spesifikasi Rancangan Antena	29
3.2.1	Parameter Antena.....	29
3.2.2	Bahan antena	30
3.2.3	Simulasi Antena	30
3.2.4	<i>Frequency Range</i>	31
3.2.5	<i>Field monitor</i>	31
3.2.6	Pengaturan Port (<i>Waveguide port</i>).....	32
3.2.7	Pengaturan <i>Solver (Time Domain Solver)</i>	34
3.3	Desain dan Ukuran Single Element Antena <i>Microstrip</i>	36
3.4	Fabrikasi Antena <i>Microstrip</i>	37
3.5.	Proses Akuisisi Data	37
BAB IV	HASIL DAN ANALISA.....	39
4.1	Metode Pengukuran	39
4.2	Desain, Simulasi dan Pengujian <i>Single Element</i>	40
4.3	Analisa Antena, Pembangkit dan Arus	43
4.3.1	Analisa PD oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2 cm	43
4.3.2	Analisa PD oleh Antena pada Isolasi Minyak dengan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2 cm	46
4.3.3	Analisa PD oleh Antena pada 2 Isolasi Berbeda.....	48
4.3.4	Analisa Arus ketika PD pada Isolasi Udara	49
4.3.5	Analisa Arus ketika PD pada Isolasi Minyak.....	52
4.3.6	Analisa Arus ketika PD pada 2 Isolasi Berbeda.....	54
4.4	Analisa PRPD	55
4.4.1	Analisa PRPD pada Isolasi Udara Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2cm.	55
4.4.2	Analisa PRPD pada Isolasi Minyak Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2cm.	58
4.4.3	Analisa PRPD pada 2 Isolasi berbeda (Isolasi Udara dan Isolasi Minyak).....	61
4.5	Analisa Amplitudo Tegangan Antena	62

4.6	Metode <i>Leakage current</i> Sebagai Validasi Data.....	63
4.7	Perbandingan Metode Deteksi <i>Partial discharge</i> dengan Metode UHF dan <i>Leakage current</i>	66
BAB V	PENUTUP	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71
RIWAYAT HIDUP.....		73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema pengaruh dan teknik deteksi <i>Partial discharge</i>	2
Gambar 2.1	Tingkat kegagalan material isolasi	10
Gambar 2.2	Kekuatan Dielektrik	12
Gambar 2.3	Struktur Antena <i>Microstrip</i>	14
Gambar 2.4	<i>Two-Port Network</i>	17
Gambar 2.5	<i>Bandwidth</i> Antena	19
Gambar 2.6	Klasifikasi jenis pola radiasi berdasarkan arah <i>main lobe</i> . (a) <i>omnidirectional</i> , (b) <i>broadside</i> dan (c) <i>endfire</i> [13].	22
Gambar 2.7	Tegangan <i>breakdown</i> dengan berbagai tingkat ketidakseragaman medan.	23
Gambar 2.8	Kegagalan elektronik	24
Gambar 3.1	Skema pengujian yang digunakan.....	25
Gambar 3.2	Alat pengujian yang digunakan.....	26
Gambar 3.3	Alat pengujian yang digunakan.....	27
Gambar 3.4	Isolasi minyak	28
Gambar 3.5	Elektoda Jarum 2mm	28
Gambar 3.6	Resistor dan surge arrester	29
Gambar 3.7	Pengaturan Frekuensi	31
Gambar 3.8	Parameter-parameter pada <i>field monitor</i>	32
Gambar 3.9	Pembentukan <i>Waveguide Port</i> secara manual.....	33
Gambar 3.10	Pembentukan <i>Waveguide Port</i> dengan <i>Port Extension Coefficient</i>	34
Gambar 3.11	Parameter pada <i>Time Domain Solver</i> sebelum melakukan simulasi.....	35
Gambar 3.12	Desain Antena	36
Gambar 3.13	(a) antena <i>microstrip</i> tampak depan, (b) antena <i>microstrip</i> tampak belakang.....	37
Gambar 3.14	Proses pengolahan data PRPD	38
Gambar 4.1	Hasil Simulasi S-Parameter pada Antena <i>Microstrip</i> 2.4 GHz	40
Gambar 4.2	Hasil Simulasi <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> (VSWR) pada Antena <i>Microstrip</i> 2.4 GHz	41
Gambar 4.3	Hasil pola radiasi 2D pada Antena <i>Microstrip</i> 2.4 GHz (a) vertikal (b) horizontal	42

Gambar 4.4	Hasil pola radiasi 3D dan <i>gain</i> pada Antena <i>Microstrip</i> 2.4 GHz (a) antenna tampak depan (b) antenna tampak belakang (c) skala <i>gain</i>	43
Gambar 4.5	<i>Partial discharge</i> pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm	44
Gambar 4.6	<i>Partial discharge</i> pada usolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm	45
Gambar 4.7	<i>Partial discharge</i> pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm	45
Gambar 4.8	<i>Partial discharge</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm	46
Gambar 4.9	<i>Partial discharge</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm	47
Gambar 4.10	<i>Partial discharge</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2cm	47
Gambar 4.11	<i>Partial discharge</i> pada <i>stainless steel</i> 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara	49
Gambar 4.12	<i>Partial discharge</i> pada <i>stainless steel</i> 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi minyak	49
Gambar 4.13	<i>Leakage current</i> pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm	50
Gambar 4.14	<i>Leakage current</i> pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm	51
Gambar 4.15	<i>Leakage current</i> pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm	51
Gambar 4.16	<i>Leakage current</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm	52
Gambar 4.17	<i>Leakage current</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm	53
Gambar 4.18	<i>Leakage current</i> pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2cm	53
Gambar 4.19	<i>Leakage current</i> pada <i>stainless steel</i> 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara	54
Gambar 4.20	<i>Leakage current</i> pada <i>stainless steel</i> 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi minyak	55

Gambar 4.21	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm.....	57
Gambar 4.22	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm.....	57
Gambar 4.23	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm.....	58
Gambar 4.24	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm.....	59
Gambar 4.25	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm.....	59
Gambar 4.26	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2 cm.....	60
Gambar 4. 27	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara.....	61
Gambar 4.28	<i>Stainless steel</i> berdiameter 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara.....	62
Gambar 4.29	Grafik pembacaan amplitude antenna setiap menaikkan tegangan suplai	63
Gambar 4.30	Data <i>ultra high frequency</i> tentang validasi <i>Partial discharge</i> dengan <i>Leakage current</i>	64
Gambar 4.31	Grafik <i>leakage current</i> terhadap sudut terjadinya <i>partial discharge</i>	64
Gambar 4.32	<i>Leakage current</i> pada Isolasi Cair.....	65
Gambar 4.33	<i>Leakage current</i> pada isolasi Udara	65
Gambar 4.34	Sikronisasi validasi PD pada isolasi udara dengan <i>stainless steel</i> 2cm dan elektroda berjarak 2cm oleh pembangkit AC, antenna dan <i>leakage current</i>	66
Gambar 4.35	Sikronisasi validasi PD pada isolasi minyak dengan <i>stainless steel</i> 2cm dan elektroda berjarak 2cm oleh pembangkit AC, antenna dan <i>leakage current</i>	67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Klasifikasi Frekuensi berdasarkan ITU.....	13
Tabel 2. 1	Klasifikasi Frekuensi berdasarkan ITU (Lanjutan).....	14
Tabel 3. 1	Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggiAC.....	27
Tabel 3. 2	Spesifikasi tujuan parameter antena	30
Tabel 3. 3	Spesifikasi bahan antena	30
Tabel 3. 4	Ukuran Antena	36
Tabel 4. 1	Parameter Performa <i>Antena Microstrip</i> <i>SingleElement</i>	42
Tabel 4. 2	Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD (isolasi udara).....	58
Tabel 4. 3	Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD (isolasi minyak).....	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

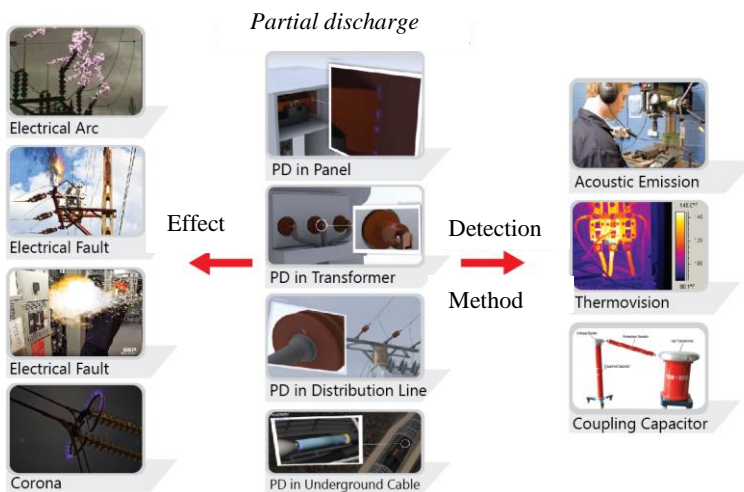
Fenomena *pre-breakdown voltage* adalah suatu fenomena yang menandai bahwa akan terjadinya proses kegagalan pada suatu bahan isolasi. fenomena *pre-breakdown voltage* terjadi ketika kondisi *partial discharge* (PD) atau peluahan sebagian. *Partial discharge* (PD) merupakan kondisi saat terjadinya pelepasan muatan listrik yang terjadi karena terdapat 2 elektroda bertegangan yang dipisahkan oleh isolator[1].. *Partial discharge* (PD) dapat menyebabkan penurunan kualitas isolasi, penuaan (*aging*) dan berpotensi merusak peralatan listrik[2]. *Partial discharge* dapat terjadi pada isolasi udara, padat dan cair.

Isolasi merupakan suatu media yang digunakan untuk memisahkan dua atau lebih bagian yang bertegangan. Terdapat tiga jenis bahan isolasi, yaitu bahan isolasi udara, cair, dan padat. Isolasi udara yang paling mudah didapatkan adalah udara. Udara pada keadaan normal (udara yang ideal) dapat bekerja sebagai isolator yang sempurna karena sifatnya yang sederhana, mudah didapat karena terdapat dimana saja, dan mampu memenuhi ruang. Udara mampu bekerja menjadi bahan isolasi yang baik pada tekanan yang tidak terlalu tinggi, dan juga sering digunakan sebagai pendingin peralatan. Isolasi cair biasanya digunakan pada transformator. Isolasi cair memiliki sifat *self-healing*, mengisi *gap* (celah) dan disipasi panas yang baik.

Pada dasarnya, suatu bahan isolasi secara bertahap akan mengalami penurunan kekuatan dielektrik. Penurunan kekuatan dielektrik ini salah satunya dapat disebabkan oleh adanya aktivitas *partial discharge* atau peluahan sebagian. Sehingga dapat dikatakan bahwa *partial discharge* dapat dijadikan sebagai salah satu indikator menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi. Dengan menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, maka akan mempengaruhi kinerja peralatan yang menggunakan bahan isolasi tersebut [2].

Fenomena *Partial discharge* atau PD dapat dideteksi dengan berbagai macam metode. Metode konvensional untuk menentukan PD adalah mengkopel kapasitor dengan sistem sehingga arus *short*

circuit isolator dapat diketahui. Deteksi dengan metode ini memiliki kelemahan yaitu harus dilakukan dalam laboratorium sehingga sistem saat pengujian harus *shut down*. Metode kopel tersebut sudah jarang digunakan untuk saat ini [3]. Metode selanjutnya adalah *Acoustic Emission* (AE). Metode ini memanfaatkan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh peralatan tegangan tinggi dan dideteksi oleh *AE detector* untuk di analisa gelombang elektromagnetiknya sehingga dapat menemukan keberadaan PD. Deteksi dengan AE juga memiliki kekurangan berupa banyaknya distraksi gelombang elektromagnetik sehingga detektor harus memiliki amplifier spesial [4], [5]. Selain kedua metode tersebut ada metode termografi yang mendeteksi panas jikalau ada PD. Metode ini membutuhkan kondisi yang cukup sulit untuk dipenuhi yaitu hanya dapat mendeteksi jika keadaan gelap dan sudah ada perbedaan suhu yang cukup besar [6]. Gambar 1 menampilkan infografis tentang *Partial discharge*.



Gambar 1. 1 Skema pengaruh dan teknik deteksi *Partial discharge*

Penelitian untuk deteksi *Partial discharge* yang paling terbaru adalah dengan menggunakan antenna. Metode yang paling umum adalah pendeteksi *Partial discharge* dengan menggunakan antenna *monopole* tersambung dengan RTL-SDR. Metode tersebut cukup

mudah dan murah akan tetapi *noise* sangat mudah mengganggu. Metode RTL-SDR hanya dapat dilakukan pada kondisi ideal dengan frekuensi ideal 600 MHz. Frekuensi pada titik tersebut masih dapat terganggu oleh *noise*. Metode lainnya adalah dengan menggunakan *Hilbert Fractal Antena*. Metode tersebut cukup sulit diimplementasikan karena fabrikasi dan desain yang sulit. Deteksi yang dilakukan umumnya harus pada frekuensi rendah. Dampak yang terjadi ketika pendeteksian pada frekuensi rendah adalah masih adanya *noise* dari peralatan komunikasi.

Berdasarkan kondisi tersebut maka dilakukan penelitian Tugas Akhir untuk mengetahui karakteristik sinyal/gelombang *partial discharge*. Pengujian dilakukan pada isolasi cair dan udara berskala laboratorium menggunakan antena *microstrip* pada *bandwidth Ultra high frequency* (UHF). Elektroda yang digunakan adalah elektroda *point to plane* (jarum ke datar) dengan variasi jarak 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm. Pemilihan elektroda tersebut karena ketidakseragaman persebaran medan yang tinggi sehingga adanya aktivitas *partial discharge* lebih mudah terdeteksi. Pembangkit yang digunakan bertipe AC dengan frekuensi antena sebesar 2.4 GHz. Sinyal diambil dengan menggunakan peralatan akuisisi yaitu osiloskop. Data yang diambil akan diolah sehingga menampilkan *Phase Resolved Partial discharge* (PRPD). Hasil yang telah diolah akan dianalisa karakteristik pengaruh bahan dan jarak elektroda terhadap metode deteksi dengan antena *microstrip*. Data akan divalidasi dan komparasi akan dilakukan dengan menggunakan metode *leakage current*. Penelitian ini diharapkan dapat menyempurnakan metode yang telah dikembangkan dan dapat diimplementasikan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

1.2 Permasalahan

Permasalahan dalam Tugas Akhir ini :

- a. Bagaimana desain antena *microstrip* pada frekuensi *Ultra high frequency* (UHF) untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi cair dan udara.
- b. Bagaimana susunan rangkaian pengujian untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi cair dan udara.
- c. Bagaimana karakteristik bentuk gelombang/sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antena *microstrip* ketika *partial discharge* terjadi pada isolasi cair dan udara.

- d. Bagaimana mengklasifikasikan *partial discharge* pada isolasi cair dan udara.
- e. Bagaimana hasil komparasi dan validasi data dengan metode UHF dan *leakage current*.

1.3 Tujuan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini :

- a. Terwujudnya desain dan implementasi antenna untuk mendeteksi *Partial discharge* pada isolasi cair dan udara.
- b. Terwujudnya serangkaian peralatan yang digunakan untuk mendeteksi *Partial discharge*.
- c. Mendapatkan karakteristik dari aktivitas *Partial discharge* pada isolasi cair dan udara
- d. Menentukan klasifikasi *partial discharge* pada isolasi cair dan udara.
- e. Mendapatkan hasil validasi dan komparasi dari metode UHF dan *Leakage current*

1.4 Batasan Masalah

Batasan permasalahan untuk tugas akhir ini antara lain:

1. Antena yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* adalah jenis antena *microstrip* dengan frekuensi 2.4 GHz.
2. Suhu ruangan untuk pengujian *partial discharge* pada media isolasi udara dan media isolasi cair diabaikan.
3. Minyak yang digunakan untuk pengujian adalah minyak mineral Shell Diala B
4. Pengujian *partial discharge* menggunakan pembangkit tegangan tinggi AC.
5. Elektroda yang digunakan untuk pengujian pengujian *partial discharge* pada media isolasi udara dan media isolasi cair adalah elektroda datar dan elektroda jarum dengan bahan *stainless steel*.
6. Elektroda jarum yang digunakan adalah *stainless steel* berdiameter 2mm dengan variasi jarak 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm.
7. Data yang diambil merupakan data *partial discharge* pada tegangan 3 kV sebelum *breakdown* pada isolasi udara dan tegangan 4 kVsebelum *breakdown* pada isolasi cair.
8. Antena *microstrip* yang digunakan untuk pengujian berjarak 30 cm dari elektroda pengujian.

9. Data yang digunakan adalah data yang didapat dari hasil pengujian yang telah peneliti lakukan sendiri.

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur

Mempelajari *partial discharge* pada UHF (*Ultra high frequency*) secara umum, *partial discharge* pada media isolasi cair dan isolasi udara dan karakteristiknya. Mempelajari desain-desain antenna *microstrip* dengan frekuensi UHF (300MHz – 3GHz) untuk nantinya difabrikasi serta parameter-parameternya (*Return loss*, *VSWR*, *Bandwidth*) sehingga akan menjadi mudah mengetahui karakteristik antenna untuk mendeteksi *partial discharge*. Mempelajari perangkat keras seperti : SHS1000 *Series Handheld Digital Oscilloscope* (DSO)

2. Implementasi Alat

Untuk tahap awal, memfabrikasi antenna *microstrip* yang sudah didesain sedemikian rupa kemudian setelah difabrikasi mempersiapkan rangkaian peralatan-peralatan untuk pengujian, yakni : pembangkitan tegangan tinggi AC, elektroda jarum-datar, minyak mineral (pengujian isolasi cair), antenna *microstrip* dan DSO.

3. Pengujian dan pengambilan data

Pada tahap ini, untuk pengujian isolasi udara, dilakukan pengujian dengan cara membangkitkan tegangan tinggi AC yang telah tersambung dengan elektroda jarum-datar sedemikian rupa dan untuk pengujian isolasi cair, dilakukan pengujian dengan cara membangkitkan tegangan tinggi AC yang telah tersambung dengan elektroda jarum-datar yang dicelupkan kedalam minyak mineral. Kemudian, menaikkan tegangan tinggi AC hingga mencapai voltase tertentu, bunyi desis terjadi, menandakan *partial discharge* mulai terjadi. Selanjutnya, Antena *microstrip* yang diletakkan 30 cm dari elektroda akan mulai melakukan menangkap sinyal/gelombang frekuensi yang terjadi. Kemudian sinyal/gelombang frekuensi tertangkap oleh antenna *microstrip* akan dikirimkan ke DSO (*Digital Storage Oscilloscope*) untuk diubah menjadi *display* yang akan dilihat karakteristiknya serta dianalisis lebih lanjut sehingga dapat disimpulkan dan dikaitkan dengan teori yang telah ada.

4. Pengolahan dan analisa data

Setelah dilakukan pengujian dan pengambilan data, selanjutnya akan dilakukan pengolahan dan analisa data terhadap data-data yang sudah didapat. Untuk tahap ini, data yang telah didapat akan diolah sedemikian rupa. Selanjutnya, dilakukan analisa hingga didapatkan suatu hasil.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan sebagai penunjang penyusunan penelitian ini, secara garis besar berisi penjelasan mengenai fenomena *partial discharge* pada isolasi cair dan udara serta karakteristik bentuk sinyal/gelombangnya dan pengaruh dari jarak serta bentuk elektroda yang digunakan.

Bab III METODELOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai penjelasan dalam perancangan alat pengujian dan cara pengambilan serta pengolahan data.

Bab IV ANALISA DATA

Bab ini berisi sajian data-data dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar serta pembahasan mengenai proses pengolahan data yang kemudian dianalisis hingga didapatkan sebuah hasil mengenai karakter sinyal/gelombang *partial discharge* pada isolasi udara.

Bab V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain :

1. Industri Listrik

Metode yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* ini dapat digunakan untuk Industri yang bergerak dibidang kelistrikan agar menurunkan biaya pendeteksian *partial discharge* dan memberikan kemudahan bagi industri tersebut.

2. Lembaga Penelitian

Metode dan hasil eksperimen pendeteksian *partial discharge* diharapkan dapat dianalisa dan dikembangkan lebih jauh lagi oleh peneliti terutama dalam hal akurasi dari hasil yang diperoleh serta tingkat presisi alat dalam pengambilan data.

3. Mahasiswa

Hasil penelitian dapat menjadi referensi mahasiswa agar dapat dikembangkan lagi untuk mensempurnakan metode terbaik dalam *partial discharge*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

PARAMETER ANTENA, FENOMENA *PRE-BREAKDOWN* PADA ISOLASI CAIR DAN UDARA

2.1 Media Isolasi

Media isolasi adalah suatu media dalam sistem tenaga listrik yang digunakan untuk mrngisolir dua atau lebih penghantar bertegangan agar tidak menghantarkan arus bocor (*leakage current*) atau terjadi lompatan listrik (*flash over*). Jika media isolasi mengalami *leakage current* atau *flash over*, dapat diartikan fungsi dari media isolasinya telah gagal. Media isolasi dibagi menjadi 3 jenis : isolasi padat, isolasi cair dan isolasi udara.

2.1.1 Isolasi Cair

Isolasi cair mempunyai fungsi sebagai berikut [7] :

- Isolasi untuk penghantar peralatan tenaga listrik
- Pendingin Transformator
- Melarutkan udara yang timbul
- Peredam busur listrik

Keunggulan isolasi cair adalah sebagai berikut :

- Isolasi cair mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih besar dari isolasi udara karena kerapatannya yang sebesar 1000 kali atau lebih.
- Ketika proses pelepasan muatan (*discharge*), isolasi cair mampu memperbaiki diri sendiri (*self-healing*).
- Isolasi cair akan mengisi celah (*gap*) dan apabila timbul panas akibat rugi-rugi energi, isolasi cair akan menghilangkan panas tersebut melalui proses konveksi

Sifat Isolasi minyak sebagai berikut :

- *Withstand breakdown*
Kemampuan isolator untuk tidak tembus ketika mengalami tekanan listrik yang tinggi
- Kapasitansi listrik per unit volume menentukan permitivitas relatif isolasi cair. Contohnya : minyak petroleum memiliki permitivitas yang efektif dengan nilai kira-kira sebesar 2 atau 2,5.

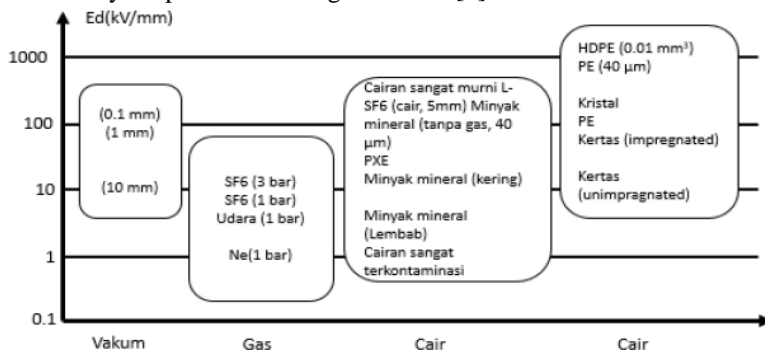
- Faktor disipasi daya

Faktor yang menentukan besarnya rugi-rugi dielektrik pada bahan yang isolasi ketika dialiri tegangan bolak-balik (AC). Contoh : Minyak transformator murni mempunyai faktor disipasi yang nilainya bervariasi antara 10^{-4} dan 10^{-3} pada 90°C pada frekuensi 50 Hz.

- Resistivitas

Isolasi cair memiliki resistivitas yang nilainya lebih besar dari 10^{-9} W-M, Untuk sistem tegangan tinggi, resistivitas yang dibutuhkan untuk material isolasi adalah 10^{-16} W-M atau lebih.

Jika dibandingkan berdasarkan kemampuannya, isolasi cair lebih baik dari isolasi udara. Namun isolasi cair masih dibawah isolasi padat. Perbandingan kegagalan isolasi berdasarkan materialnya dapat dilihat dari gambar 2.1 [8]



Gambar 2. 1Tingkat kegagalan material isolasi

2.1.2 Isolasi Udara

Isolasi yang paling banyak digunakan adalah isolasi udara disebabkan kekuatan dielektriknya yang lebih besar dibandingkan isolasi cair dan isolasi padat. Terdapat beberapa jenis isolasi udara yang umum digunakan, antara lain :

- Udara
- *Sulfur Hexafluoride* (SF6)
- *Carbon dioxide* (CO₂).
- Isolasi Vakum

Isolasi udara mempunyai tegangan *breakdown* yang disebabkan oleh ionisasi (tumbukan ion-ion). Ketika ionisasi, elektron-elektron dapat menggandakan dirinya secara eksponensial dan apabila nilai tegangan injek sangat besar, maka kekuatan dielektrik isolasi udara akan mengalami kerusakan. Udara merupakan jenis isolasi udara yang banyak digunakan diantara lainnya. Namun, udara memiliki kekuatan dielektrik yang terendah. Jenis-jenis isolasi udara yang mempunyai kekuatan dielektrik yang besar, antara lain : *Sulfur Hexafluoride* (SF₆), *nitrogen* (N₂) dan *Carbon dioxide* (CO₂).

2.2 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik adalah ukuran ketahanan suatu dielektrik agar dapat menahan tegangan tinggi yang diinjek tanpa menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi. Jika dielektrik tidak dapat menahan tegangan tinggi yang diinjek, maka dielektrik tersebut menjadi konduktif. Dengan kata lain, dielektrik tersebut mengalami tegangan tembus (*breakdown voltage*). Faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, antara lain :

- Material elektroda
- Suhu
- Bentuk tegangan yang diinjek
- Udara dalam cairan
- Sifat atom dan molekul

Persamaan untuk Kekuatan dielektrik adalah sebagai berikut [9]:

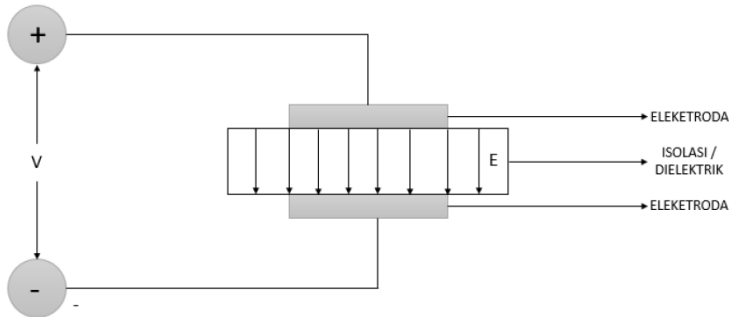
$$E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

Keterangan :

E = Kuat medan listrik pada dielektrik (kV/cm)

V = *Breakdown voltage* pada alat ukur (kV)

d = Jarak sela elektroda (cm)



Gambar 2. 2 Kekuatan Dielektrik

2.3 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair

Kegagalan isolasi cair dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini, antara lain : *lifetime* pada isolasi tersebut atau terdapat ketidakmurnian didalam isolasi cair tersebut sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan dielektrik pada isolasi cair tersebut. Ketika tegangan mengalir pada isolasi melebihi batas kekuatan dielektrik isolasinya, maka isolasi tersebut akan mengalami tembus listrik atau *breakdown*. Terdapat unsur-unsur ketika proses *breakdown* pada dielektrik cair, antara lain [9]:

- Tampak lintasan cahaya dari anoda ke katoda
- Impedansi rangkaian pengujian mempengaruhi besar arus
- Dekomposisi zat cair menghasilkan gelembung udara dan butir-butir zat padat
- Menghasilkan suara letupan pada zat cair
- Terbentuk lubang pada elektroda

Isolasi zat cair mempunyai 3 bentuk kegagalan yakni :

- Partikel Padat
Suatu partikel padat yang terbentuk disebabkan oleh adanya *thermal stress* (pemanasan) dan *overvoltage* (tegangan lebih).
- Uap air
Suatu uap air terbentuk dikarenakan adanya medan listrik yang menyebabkan molekul uap air yang terlarut akan terpisahkan dari isolasi cair sehingga menyebabkan terpolarisasi membentuk suatu dipol.

- Gelembung udara
Suatu gelembung udara dikarenakan dalam isolasi cair tersebut mengandung gelembung-gelembung udara .

2.4 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Udara

Hal yang penting ketika kegagalan isolasi udara adalah ionisasi. Ionisasi adalah proses pembentukan ion dengan menambahkan atau mengurangi elektron (partikel bermuatan). Terdapat 2 jenis proses didalam mekanisme kegagalan isolasi udara, yaitu [10] :

- Proses Primer, yang memungkinkan banjiriran (*avalanche*) elektron akan terjadi.
- Proses Sekunder, yang memungkinkan banjiriran (*avalanche*) elektron akan meningkat.

Selanjutnya, mekanisme kegagalan isolasi udara terbagi menjadi 2 tahap, yaitu :

1. Mekanisme Townsend
2. Mekanisme Streamer

2.5 Ultra high frequency (UHF)

Gelombang radio adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi kurang dari 3000 GHz dan gelombang tersebut merambat dalam ruang angkasa tanpa media penghantar buatan. Definisi frekuensi adalah banyaknya gelombang elektromagnetik dalam satu satuan waktu dan dinyatakan dengan siklus/detik atau Hertz (Hz)

Menurut ITU (*International Telecommunication Union*), frekuensi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa *range* frekuensi yang dapat dilihat pada tabel 1.1[6] :

Tabel 2. 1 Klasifikasi Frekuensi berdasarkan ITU

Range Frekuensi		Pita Frekuensi	Panjang Gelombang
3	sd 30 kHz	<i>Very Low Frequency</i>	100.000 - 10.000m
30	sd 300 kHz	<i>Low Frequency</i>	10.000 - 1.000 m
300	sd 3000 kHz	<i>Medium Frequency</i>	1.000 - 100 m
3000	sd 30 MHz	<i>High Frequency</i>	100- 10 m
30	sd 300 MHz	<i>Very High Frequency</i>	10 - 1 m

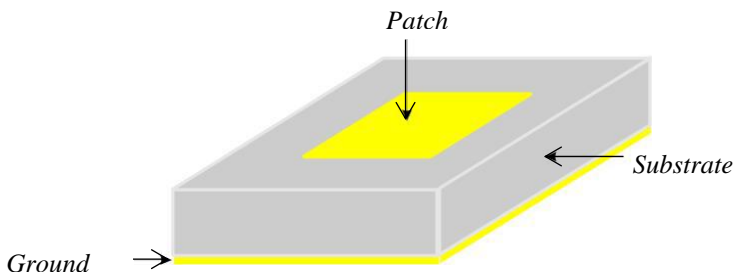
Tabel 2. 2 Klasifikasi Frekuensi berdasarkan ITU (Lanjutan)

300	sd 3000	<i>Ultra high frequency</i>	1m – 10cm
MHz			
3	sd 30 GHz	<i>Super High Frequency</i>	10 – 1cm
30	sd 300 GHz	<i>Extremely High Frequency</i>	1cm – 1mm

2.6 Antena *Microstrip*

Antena adalah alat yang dapat mengkonversi besaran listrik menjadi gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara melalui saluran transmisi. Antena juga dapat menangkap gelombang elektromagnetik dari udara lalu dikonversi menjadi besaran listrik melalui saluran transmisi. Umumnya, antena mempunyai beberapa bentuk seperti : antena pantul (*reflector antena*), antena kabel (*wired antena*), antena celah (*arpature antena*), antena *microstrip*, antena log periodik

Antena *microstrip* ialah bahan konduktor yang diletakkan diatas *ground plane*. Umumnya, antena *microstrip* mempunyai bentuk yang kecil sehingga antena *microstrip* dapat dengan mudah diletakkan disegala permukaan. Antena *microstrip* memiliki 2 rancangan secara konseptual, yakni merancang ukuran model radiator dan merancang model saluran transmisi. Bentuk *microstrip* terdiri atas *patch* sebagai elemen peradiasi, *ground plane* dan *substrate* (pemisah *patch* dan *ground plane*) seperti pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Struktur Antena *Microstrip*

Patch merupakan lapisan logam metal yang mempunyai ketebalan tertentu. Fungsi *patch* yaitu meradiasikan gelombang

listrik dan gelombang magnet. *Patch* memiliki bermacam-macam bentuk seperti segitiga, persegi, persegi panjang, elips, lingkaran dan lainnya yang bertujuan untuk menghasilkan karakteristik yang baik atau performa yang bagus. Bentuk *patch* yang paling banyak digunakan ialah bentuk persegi karena lebih mudah untuk menganalisa karakteristik radiasinya.

Substrate dapat mempengaruhi karakteristik antenna dikarenakan *substrate* memiliki nilai ketebalan *substrate* (h) dan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berbeda-beda. Jika ketebalan *substrate* tinggi dan nilai konstanta dielektrik kecil maka antenna akan menghasilkan *bandwidth* yang lebar dan efisiensi yang tinggi. Namun hal itu mempunyai kerugian yakni ukuran antenna menjadi lebih besar dan berdampak akan timbul *surface wave* [11]. *Surface wave* adalah gelombang yang merambat pada *ubstrate* dan menghambur pada bidang yang diskontinyu atau lekukan bidang. *Surface wave* dapat menyerap dan menghamburkan daya dari daya total yang akan diradiasikan. Akibatnya, pola radiasi menjadi turun. Oleh sebab itu, *surface wave* sangat merugikan bagi antenna.

Ground plane pada antenna *microstrip* berfungsi sebagai *grounding*. *Ground plane* ini terbentuk dari logam tembaga, bahan ini sama seperti elemen peradiasi lainnya.

Antena *microstrip* mulai berkembang sekitar tahun 1970 dan diaplikasikan untuk komersil serta keperluan militer. Contoh aplikasi untuk komersil antara lain : *Global Positioning System* (GPS), *remote sensing*, sistem komunikasi seluler dan sistem komunikasi paralel sedangkan contoh aplikasi untuk keperluan militer, antara lain : misil, pesawat luar angkasa, pesawat terbang dan roket. [11]

Kelebihan dari antenna *microstrip*, antara lain : ukuran yang ringan dan kecil, mudah difabrikasi, lebih fleksibel dan mudah untuk dimodifikasi agar mencapai performa yang baik [11] sedangkan kekurangan dari antenna *microstrip*, antara lain : sempitnya *bandwidth*, rendahnya *gain* dan adanya kemungkinan radiasi bocoran (*spurious*)

2.7 Parameter Antena

Selain untuk meninjau performa dari suatu antenna, parameter-parameter berikut ini dapat digunakan juga untuk menganalisa suatu antenna, parameter-parameter tersebut antara lain : *Return loss*,

Scattering parameter, VSWR, Bandwidth, Impedansi Input, Gain, Directivity, Polarisasi Antena, Pola Radiasi dan Beamwidth. [12]

2.7.1 Return loss

Return loss merupakan rasio amplitudo gelombang yang direfleksikan dengan amplitudo gelombang yang dikirimkan [13]. *Return loss* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$RL = -20\log|\Gamma| \text{ dB} \quad (2.2)$$

Keterangan :

Γ adalah koefisien refleksi.

Koefisien refleksi (Γ) adalah perbandingan antara gelombang yang direfleksikan V_o^- dengan tegangan yang dikirimkan V_o^+ . Koefisien refleksi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.3)$$

Keterangan :

V_o^- = Tegangan yang direfleksikan (V)

V_o^+ = Tegangan yang dikirim (V)

Z_L = Impedansi Beban (Ω)

Z_0 = Impedansi Karakteristik (Ω)

Ketika beban *matched* dengan saluran maka tidak ada gelombang yang terefleksikan kembali dan nilai $\Gamma = 0$ atau $\Gamma_{dB} = -\infty$. Untuk mendapatkan $\Gamma = 0$, impedansi beban Z_L harus sama dengan impedansi karakteristik Z_0 saluran transmisi. Ketika beban tidak *matched* dengan saluran maka gelombang datang akan terefleksikan kembali dan nilai $\Gamma = 1$ atau $\Gamma_{dB} = 0$ [12]. Oleh karena itu, nilai yang paling baik untuk *return loss* ialah < -10 dB disebabkan nilai $VSWR \leq 2$ menandakan nilai gelombang yang dikirimkan lebih besar dari nilai gelombang yang direfleksikan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matched* [13].

2.7.2 Scattering parameter

Scattering parameter adalah istilah yang digunakan untuk mengkarakterisasikan jaringan listrik yang kesesuaian dalam impedansinya [13] atau suatu parameter yang berhubungan dengan amplitudo (magnitudo dan fasa) *travelling wave* dimana *travelling wave* mengalami *scattered* (tersebar) atau *reflected* (refleksi) ketika jaringan n-port dimasukkan ke saluran transmisi [12]. S-parameter dapat digambarkan dengan sistem dua *port* seperti gambar 2.4



Gambar 2. 4 *Two-Port Network*

Dari konfigurasi *port* diatas dimana V_1^+ dan V_2^+ adalah amplitudo gelombang datang masing-masing pada port 1 dan port 2 sedangkan V_1^- dan V_2^- adalah amplitudo gelombang refleksi masing-masing dari port 1 dan port 2 yang kemudian dapat dirumuskan *scattering matrix* sebagai berikut [12]:

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Didapatkan persamaan dari matriks diatas :

$$\begin{aligned} V_1^- &= S_{1,1}V_1^+ + S_{12}V_2^+ \\ V_2^- &= S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ \end{aligned} \quad (2.5)$$

Maka,

$$S_{1,1} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \quad (2.6)$$

$$S_{12} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \quad (2.7)$$

$$S_{21} = \frac{V_2^-}{V_1^+} \quad (2.8)$$

$$S_{22} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \quad (2.9)$$

Persamaan diatas menjelaskan hubungan daya antara yang dipantulkan dan yang datang pada setiap *port*nya ($S_{1,1}$, $S_{1,2}$, $S_{2,1}$ dan $S_{2,2}$).

Keterangan :

$S_{1,1}$ = Koefisien pantulan tegangan maju *port* 1 terhadap antara tegangan *input*, perbandingan, tegangan pantul *port* 1

$S_{1,2}$ = *Gain* tegangan maju *port* 2 dan tegangan pantul, perbandingan tegangan gelombang pantul *port* 1

$S_{2,1}$ = *Gain* tegangan maju *port* 1 dan tegangan pantul, perbandingan tegangan gelombang pantul *port* 2

$S_{2,2}$ = Koefisien pantulan tegangan maju *port* 2 terhadap antara tegangan *input*, perbandingan, tegangan pantul *port* 1

2.7.3 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) merupakan *standing wave*, gelombang berdiri yang dihasilkan oleh interferensi daya refleksi (*reflected power*) dengan daya maju (*forward power*) [[13]], yang ditentukan dari perbandingan amplitudo tegangan maksimum ($|V_{max}|$) dengan amplitudo tegangan minimum ($|V_{min}|$) disaluran transmisi [[12]]. Persamaan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.10)$$

Keterangan :

V_{max} = tegangan maksimum

V_{min} = tegangan minimum

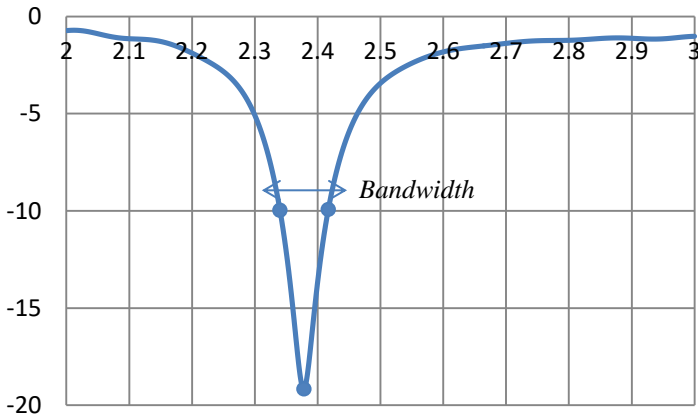
Γ = Koefisien refleksi Tegangan

VSWR merupakan bilangan real yang mempunyai rentang nilai $1 \leq VSWR \leq \infty$, dimana jika nilai VSWR = 1 maka saluran transmisi dan antenna *match* (kondisi yang paling baik). Namun dalam prakteknya, untuk mendapatkan nilai VSWR = 1 sangat sulit. Oleh karena itu, nilai yang ideal bagi VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah ≤ 2 dan jika nilai VSWR besar maka daya yang dipantulkan oleh antenna ke saluran transmisi akan besar juga.

2.7.4 Bandwidth

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai suatu rentang frekuensi dimana frekuensi bekerja sehubungan dengan beberapa karakteristik (*input impedance, beamwidth, gain, pattern, polarization* dan lainnya) sesuai dengan standar yang ditentukan [13]. *Bandwidth* mempunyai 3 jenis frekuensi sebagai titik kritisnya, yaitu frekuensi atas (f_H), frekuensi tengah (f_C) dan frekuensi bawah (f_L). Frekuensi tengah (f_C) adalah frekuensi yang bekerja dengan baik didalam rentang frekuensi atas (f_H) dan frekuensi bawah (f_L). Frekuensi tengah juga merupakan acuan bagi frekuensi lainnya juga. Gambar 2.11 adalah lebar *Bandwidth* antenna jika ditinjau nilai parameter $S_{1,1}$. *Bandwidth* mempunyai rumus sebagai berikut :

$$BW = f_H - f_L \quad (2.11)$$



Gambar 2. 5 *Bandwidth* Antena

Jika dalam persentase, maka *Bandwidth* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\%BW = \frac{f_H - f_L}{f_C} \times 100\% \quad (2.12)$$

Kemudian, f_c dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f_c = \frac{f_H - f_L}{2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

f_H = Frekuensi maksimum (Hertz)

f_C = Frekuensi tengah (Hertz)

f_L = Frekuensi minimum (Hertz)

Bandwidth dapat dinyatakan dalam 2 cara : Jika dinyatakan dalam persen, maka *bandwidth* antenna mempunyai *band* yang sempit (*narrowband antennas*) Jika dinyatakan dalam rasio antara batas frekuensi atas (f_H) dengan frekuensi bawah (f_L), maka *bandwidth* mempunyai *band* yang lebar (*broadband antennas*) [13].

2.7.5 Gain

Gain mempunyai keterkaitan dengan *directivity* (kemampuan antenna dalam mengarahkan sinyal radiasinya dan penerimaan sinyal pada arah tertentu. *Gain* adalah rasio antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi referensi suatu antenna dengan daya *input* yang sama [4]. Terdapat 2 jenis parameter *gain* antenna yakni *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* didefinisikan perbandingan antara intensitas radiasi pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang dihasilkan jika daya yang diterima oleh antenna diradiasikan secara isotropik Intensitas radiasi yang sesuai dengan daya yang diradiasikan secara isotropik, nilainya sama dengan daya yang diterima (*input*) dibagi dengan 4π

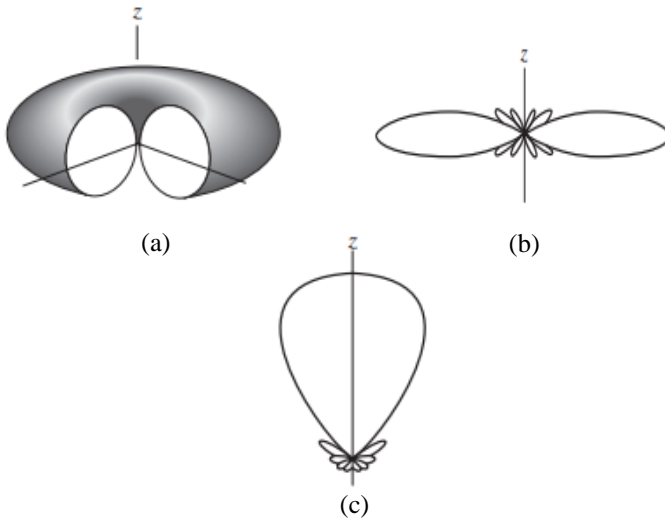
2.7.6 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna (pola antenna) adalah suatu fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi koordinat ruang [13]. Dalam praktiknya, pola radiasi ditentukan pada daerah *far-field* dan direpresentasikan sebagai fungsi koordinat arah. Sifat Radiasi meliputi kerapatan daya fluks, intensitas radiasi, kekuatan medan, *directivity* dan polarisasi. Namun terdapat 2 sifat pada pola radiasi yang umum digunakan, yaitu : pola medan dan pola daya. Pola medan adalah besaran kuat medan (listrik atau magnet) yang antenna radiasikan sedangkan pola daya adalah

radiasi antenna yang menghasilkan kerapatan daya pada jarak radiasi tertentu. Pola radiasi mempunyai berbagai macam bagian yang disebut *lobes* atau *beam*. *Lobes* dapat diklasifikasikan menjadi *major* atau *main lobes*, *minor lobes*, *side lobes* dan *back lobes*. *Major lobe* merupakan *lobe* yang mempunyai nilai radiasi maksimum. *Minor lobe* merupakan semua *lobe* yang mempunyai nilai radiasi rendah dibandingkan *major lobe*. *Minor lobe* terdiri dari *side lobe* dan *back lobe*. *Side lobe* merupakan *lobe* yang kecil dan berada jauh dari *major lobe* sedangkan *backlobe* merupakan *lobe* yang nilai radiasi antenanya berkebalikan 180° dari *major lobe*.

Untuk mem-plot pola radiasi, digunakan satuan logaritma (dB) karena untuk daerah yang mempunyai tingkat radiasi rendah dapat dilihat dengan lebih detail, contohnya bagian *minor lobe*.

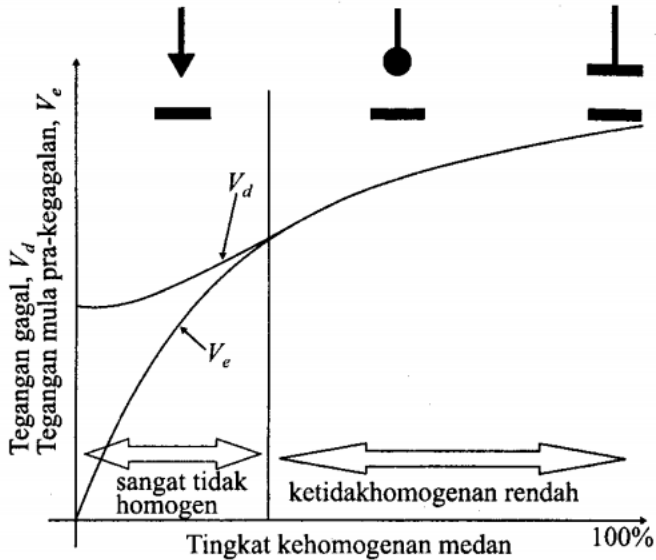
Pola radiasi ditentukan oleh jenis dan bentuk suatu antenna. Agar menghasilkan pola radiasi yang sesuai maka harus mempertimbangkan juga jenis antenna yang didesain. Berdasarkan bentuk pola radiasi, antenna dibagi menjadi 2 jenis yakni *directional* dan *omnidirectional*. Antena *directional* adalah antenna yang memiliki sifat radiasi atau menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada beberapa arah. Antena *directional* dibagi menjadi dua jenis berdasarkan arah radiasinya, yakni jenis *broadside* dan *endfire*. Pola radiasi *broadside* mempunyai arah radiasi maksimum yang tegak lurus terhadap permukaan yang terhubung antenna sedangkan pola radiasi *endfire* mempunyai arah radiasi maksimum yang searah dengan permukaan yang terhubung antenna. Selanjutnya, antenna *omnidirectional* adalah antenna yang memiliki pola tidak terarah pada bidang tertentu (*azimuth*) dan pola terarah dalam bidang ortogonal (*elevation*). Gambar pola radiasi *omnidirectional* dan *directional (broadside dan endfire)* terdapat pada gambar 2.7



Gambar 2.6 Klasifikasi jenis pola radiasi berdasarkan arah *main lobe*. (a) *omnidirectional*, (b) *broadside* dan (c) *endfire* [13].

2.8 Kegagalan pada Medan Non-Homogen

Pada proses ini pra peluahan mulai terjadi pada tingkat ketidakseragaman medan yang semakin naik sehingga akan mempengaruhi level tegangan gagalnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 hal ini menyebabkan proses kegagalan langsung terjadi pada tahap kegagalan streamer sehingga tidak adanya *inception voltage* di proses kegagalan ini. Proses pra peluahan nantinya akan berakhir menjadi suatu kegagalan isolasi ketika tegangannya sudah melebihi batasnya.



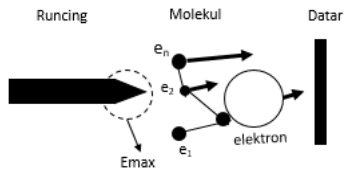
Gambar 2.7 Tegangan *breakdown* dengan berbagai tingkat ketidakseragaman medan.

2.9 Teori Kegagalan Elektronik

Teori ini biasa disebut samaran peluahan udara yang merupakan kelanjutan dari teori kegagalan isolasi udara. Pada teori ini, medan yang dihasilkan pada elektroda yang teremisi dalam isolasi cair dipengaruhi oleh diameter dari elektroda itu sendiri. Dengan diameter elektroda yang lebih kecil, medan yang besar akan terkumpul pada satu titik sehingga akan menghasilkan *avalanche* (banjiran elektro) seperti yang ada pada Gambar 2.9

Energi medan yang terbentuk pada elektroda akan terserap oleh elektron yang ada pada elektroda tersebut. Teori elektronik mengatakan bahwa energi dari medan akan terserap lebih banyak oleh elektron sehingga akan terjadi tabrakan antar molekul. Elektron tersebut akan mengalami peningkatan kecepatan sehingga akan memiliki energi yang dapat mengionisasi molekul pada saat tabrakan dan banjir elektron akan terjadi. Kondisi tersebut dapat diperoleh dari persamaan penguatan energi melalui *free mean path* untuk

mengionisasi molekul. Proses ini dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.17



Gambar 2. 8 Kegagalan elektronik

$$chv = e E \lambda \quad (2.14)$$

Dimana:

- c = konsanta arbitrary
- hv = kuantum energi untuk mengionisasikan molekul (joule)
- e = jumlah elektron bebas
- E = medan yang diterapkan (Vcm^{-1})
- λ = lintasan *free mean path* (cm)

BAB III

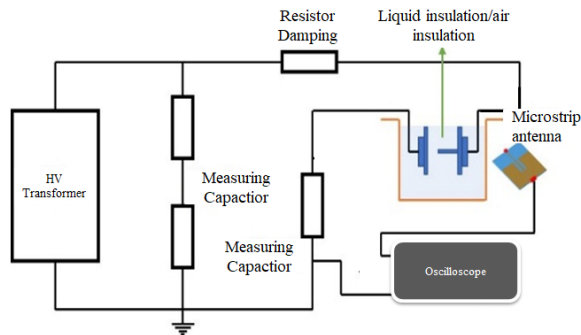
ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

Bab ini menjelaskan metode pengambilan data dengan menggunakan metode UHF, *leakage current*, dan penjelasan tentang peralatan yang digunakan untuk pengujian.

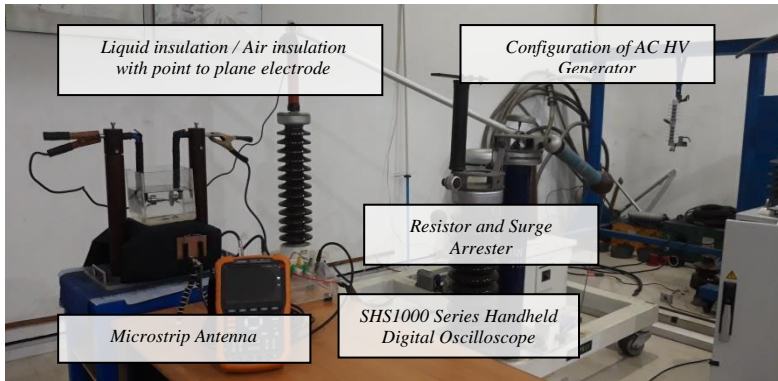
3.1 Alat Pengujian

Peralatan pengujian dibagi menjadi 2 jenis yaitu *hardware* dan *software*. *Hardware* (perangkat keras) yang digunakan adalah pembangkit tegangan tinggi AC, elektroda *point to plane*, isolasi minyak, isolasi udara, *ultra high frequency*, *Series Handheld Digital Oscilloscope*, antena *microstrip*, *arrester tube*, dan resistor. *Software* (perangkat lunak) yang dimanfaatkan adalah Computer Studio Suite 2017 (CST 2017), microsoft excel dan matlab 2017.

Pembangkitan tegangan tinggi AC akan menggunakan elektroda *point to plane* dengan isolasi cair dan udara. Antena *microstrip* dan resistor digunakan untuk mendeteksi *partial discharge*. Antena *microstrip* akan mendapatkan sinyal elektromagnetik dan resistor akan mendapatkan sinyal *leakage current*. Kedua peralatan disambungkan pada *Series Handheld Digital Oscilloscope* untuk mendapatkan nilai fasa yang sama. Sinyal yang didapatkan akan disimpan pada flashdisk menggunakan osiloskop. Gambar 3.1 dan 3.2 menampilkan rangkaian pengujian klasifikasi pola *partial discharge* pada isolasi cair dan udara.



Gambar 3.1 Skema pengujian yang digunakan

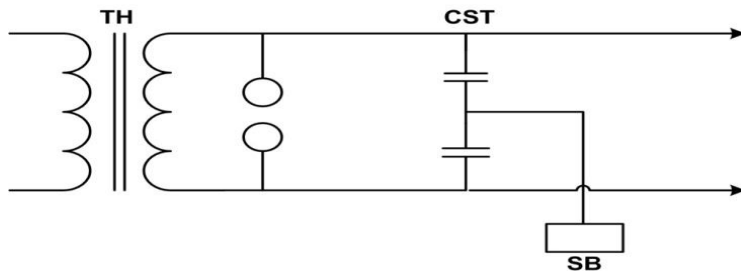


Gambar 3.2 Alat pengujian yang digunakan.

Software Computer Studio Suite (CST) 2017, microsoft excel dan matlab digunakan untuk desain dan pengolahan data. Antena *microstrip* didesain dan disimulasikan dengan memanfaatkan software CST. Antena dan *leakage current* menghasilkan sinyal tegangan. Sinyal tersebut diolah dengan menggunakan software Microsoft excel dan matlab.

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan tegangan tinggi AC digunakan untuk mensuplai tegangan pada elektroda sehingga menimbulkan *partial discharge*. Pembangkitan yang digunakan adalah model Hafley dengan 4 komponen utama. Komponen pengujian pertama adalah *Capacitive Voltage Transformer* sebagai pembagi tegangan dan tempat sambungan *control box*. Komponen selanjutnya peralatan pengatur tegangan luaran berupa *control box*. *High Voltage Transformer* (TH) merupakan peralatan selanjutnya yang digunakan untuk menaik dan menurunkan tegangan luaran. Peralatan selanjutnya adalah *grounding* sebagai peralatan untuk pentahan arus sisa. Gambar 3.3 menampilkan skema pembangkitan tegangan tinggi AC di laboratorium tegangan tinggi. Tabel 3.1 menampilkan spesifikasi peralatan pada pembangkitan tegangan tinggi AC untuk pengujian.



Gambar 3.3 Alat pengujian yang digunakan

Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan tinggi AC

<i>High Voltage Transformer</i>	80 kV rms, 5 kVA
<i>Capacitor Divider</i>	80 kV rms, 400 kV Impulse, 500 pF
<i>Measuring Resistor with Test Jack</i>	200 kV DC, 800 M Ω

High Voltage Transformer mempunyai perbandingan tegangan sebesar 220V/80kV yang artinya apabila tegangan *input* sebesar 220V maka tegangan *output* dari trasfomator sebesar 80 kV. Nilai tersebut didapat dengan mengatur *control box* melalui *capacitive voltage transformator* (CVT). *Input* tegangan akan diatur *control box* dari 0 hingga menuju nilai tertentu.

3.1.2 Isolasi dan Elektroda Uji

Isolasi yang digunakan pada pengujian ini adalah isolasi udara dan isolasi minyak shell diala B. Udara yang digunakan adalah udara bebas yang dapat mengisi ruang secara langsung. Minyak dituangkan pada penampang akrilik berukuran 14x14x15cm. Minyak tipe ini memiliki bahan dielektrik dan stabilitas oksidasi yang baik serta memiliki transfer panas yang efisien. Gambar 3.4 menampilkan penampang minyak dan isinya.

Elektroda uji yang digunakan adalah tipe *point to plane*/ jarum ke datar. Bahan elektroda berasal *stainless steel* dengan diameter jarum sebesar 2 mm. Variabel jarak antar elektroda yang digunakan pada elektroda uji adalah 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm. Gambar 3.5 menampilkan bentuk elektroda uji.



Gambar 3.4 Isolasi minyak



Gambar 3.5 Elektoda Jarum 2mm

3.1.3 Resistor dan *Surge Arrester*

Pengujian ini menggunakan 2 komponen utama untuk pengambilan nilai *leakage current*. Komponen tersebut adalah *surge arrester* dan *resistor*. Pengujian ini memakai *surge arrester* tipe Y08SV yang dipasang secara parallel dengan resistor. Pemasangan tersebut bertujuan untuk mengamankan osiloskop agar

tidak rusak ketika muncul tegangan tinggi sesaat. Resistor yang digunakan memiliki nilai hambatan 56Ω . Resistor akan diparalelkan dengan probe pembacaan tegangan dan osiloskop agar dapat melihat dan menyimpan data *trend* yang ditampilkan oleh osiloskop. Gambar 3.6 menampilkan peralatan surge arrester dan resistor serta nilai hambatan resistor.



Gambar 3.6 Resistor dan surge arrester

3.2 Spesifikasi Rancangan Antena

Antena yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* adalah antena *microstrip* yang frekuensinya bekerja di UHF (*Ultra High Frekuensi*) [14]. Berikut ini spesifikasi rancangan antena *microstrip* adalah sebagai berikut.

3.2.1 Parameter Antena

Untuk tahap awal perancangan antena *microstrip* dilakukan dengan menentukan jenis parameter dan nilai parameter antena yang diukur. Parameter tersebut antara lain : parameter $S_{1,1}$, VSWR dan frekuensi kerja (frekuensi tengah).

Tabel 3. 2 Spesifikasi tujuan parameter antenna

Parameter	Nilai
Parameter $S_{1,1}$	≤ -10 dB
VSWR	≤ 2
Frekuensi kerja (frekuensi tengah)	2.4 Ghz

3.2.2 Bahan antenna

Bahan yang digunakan untuk perancangan antenna mikrostrip yaitu PCB jenis FR-4 dikarenakan bahan tersebut lebih mudah untuk ditemukan pada *vendor* percetakan PCB yang digunakan untuk tempat fabrikasi antenna *microstrip* nantinya. Adapun spesifikasi bahan antenna (PCB) dapat dilihat pada tabel 3.3 Nilai epsilon tidak selalu sama dan dapat berubah-ubah ketika di fabrikasi dikarenakan bahan yang tersedia pada *vendor*. Akibatnya, antenna pada hasil simulasi dengan antenna hasil setelah fabrikasi akan mengalami sedikit ketidaksesuaian.

Tabel 3. 3 Spesifikasi bahan antenna

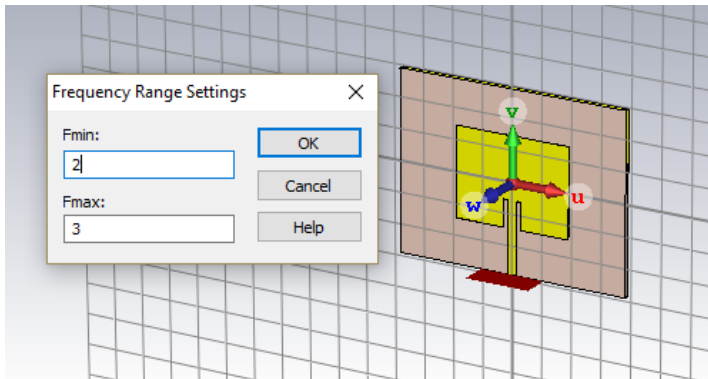
Parameter	Nilai
Jenis <i>Substrate</i>	FR-4
Tebal <i>Patch</i>	0.035 mm
Tebal <i>Substrate</i>	1.6 mm
Permitivitas bahan (ϵ_r)	4.4

3.2.3 Simulasi Antena

Antena yang dirancang akan disimulasikan dengan simulasi desain antenna pada module *CST Microwave Studio 2017* yang terdapat pada software *CST Studio Suite 2017*. Sebelum melakukan simulasi, terdapat pengaturan unit seperti : skala panjang (mm), waktu (second), frekuensi (Hz) serta suhu (kelvin). Terdapat juga *tools* untuk mempermudah perhitungan serta pembuatan bagian tertentu antenna *microstrip* seperti *feedline* agar sesuai dengan parameter-parameter lain yang telah ditentukan dan *tools* untuk menentukan batasan-batasan pada simulasi agar simulasi yang akan dijalankan menghasilkan nilai yang akurat dan presisi.

3.2.4 Frequency Range

Frequency range digunakan untuk menetapkan batasan frekuensi (batas bawah dan batas atas) pada saat simulasi. Selisih antara batas atas dan batas bawah harus tidak terlalu jauh agar hasil simulasi yang didapatkan lebih akurat dan presisi. Antena *microstrip* yang didesain bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Oleh karena itu, batas atas frekuensi yang digunakan adalah 3 GHz dan batas bawah frekuensi yang digunakan adalah 2 GHz. *Frequency range* terdapat pada menu *Simulation > Frequency* seperti pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Pengaturan Frekuensi

3.2.5 Field monitor

Field monitor digunakan untuk memonitoring karakteristik distribusi medan pada frekuensi yang telah kita tandai serta dapat memonitoring aliran daya dan arus.. *Field monitor* terdapat pada menu *Simulation > Field monitor*. Didalam jendela *field monitor*, dibagian *type*, terdapat jenis-jenis distribusi lainnya seperti kerapatan energi listrik dan kerapatan energi magnetik. Kemudian dibagian *Spesification*, masukkan nilai frekuensi yang ingin diamati atau nilai frekuensi rancangan antenna ke dalam kolom *frequency*. Contoh penggunaannya ialah untuk mengetahui pola radiasi E-field yang terdapat pada antenna dengan frekuensi 2,4 GHz. Dengan cara memilih E-Field pada bagian *Type* kemudian masukkan nilai frekuensi 2,4 ke dalam kolom *frequency*. Gambar jendela *field monitor* terdapat pada gambar 3.8

3.2.6 Pengaturan Port (Waveguide port)

Antena *microstrip* yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan teknik pencatutan *microstrip line feeding* dikarenakan teknik tersebut berfungsi untuk menentukan lebih cepat nilai impedansi yang nilainya mendekati 50 ohm. Untuk mensimulasikannya, pada ujung bagian *feeding* antenna digunakan *waveguide port* yang dilekatakkan pada bagian area tersebut. Ada 2 cara untuk membuat *waveguide port*. Pertama, dilakukan secara manual dengan cara menginputkan nilai nilai yang terletak pada menu *Simulation > Waveguide port* seperti pada gambar 3.9. Namun, cara ini menghasilkan nilai yang tidak akurat.

Monitor

Type

☒ E-Field ☐ Surface current (TLM only)

☐ H-Field and Surface current ☐ Power flow

☐ Farfield/RCS ☐ Current density

☐ Field source ☐ Power loss density/SAR

☐ Electric energy density

☐ Magnetic energy density

OK

Cancel

Apply

Preview

Help

Label

Name: e-field (f=2) ☒ Automatic

Specification

☒ Frequency ☐ Time

Frequency: 2

Frequency minimum: 1

Frequency maximum: 3

☐ Use Subvolume

Coordinates: 2D Plane: None

Structure bounding box

X Min: -38 - 0.0 X Max: 38 + 0.0

Y Min: -29 - 0.0 Y Max: 29 + 0.0

Z Min: -0.035 - 0.0 Z Max: 10.595 + 0.0

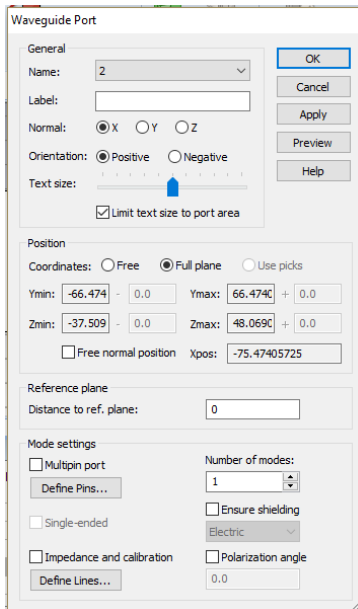
☒ Use same offset in all directions

Gambar 3.8 Parameter-parameter pada *field monitor*

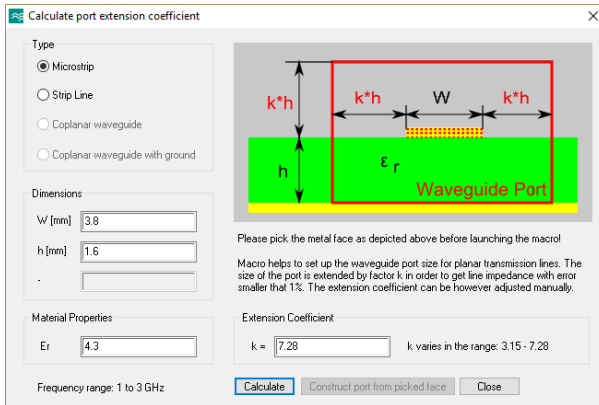
Untuk menghasilkan nilai yang akurat, digunakan cara kedua yaitu menseleksi bagian ujung feeding antenna dengan cara *pick face*

(*Modeling/Simulation > Picks > Pick Face*). Kemudian pilih *Home > Macros > Solver > Ports > Calculate port extension coefficient*.

Masukkan nilai W , h dan ϵ_r (permitivitas substrat) sesuai ketentuan rancangan kemudian pilih *calculate* maka nilai “ k ” akan muncul yang nantinya digunakan sebagai ukuran dari *waveguide port*. Setelah mengetahui nilai “ k ” maka posisi dan ukuran *port feeding* dapat diketahui. Selanjutnya, pilih *Construct port from picked face* untuk membuat *waveguide port* dengan posisi dan ukuran yang telah diketahui seperti pada gambar 3.10



Gambar 3.9 Pembentukan *Waveguide Port* secara manual

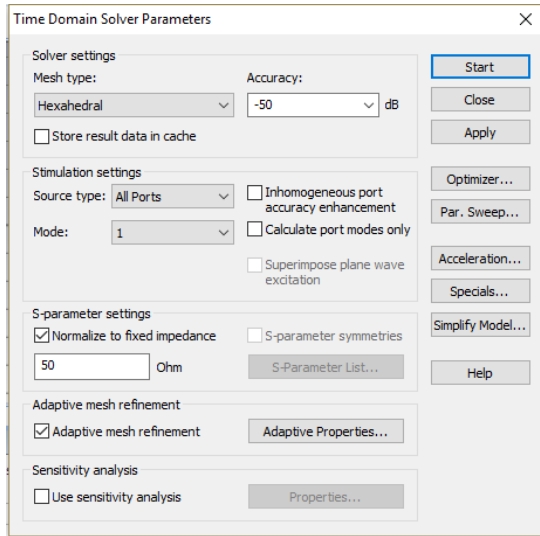


Gambar 3.10 Pembentukan *Waveguide Port* dengan *Port Extension Coefficient*

3.2.7 Pengaturan Solver (*Time Domain Solver*)

Tool Solver berfungsi untuk mengatur simulasi akan dilakukan bagaimana. Ada beberapa jenis *setup solver* seperti : *Time Domain Solver*, *Frequency Domain Solver*, *Eigenmode Solver*, *Integral Equation Solver*, *Asymptotic Solver* dan *Multilayer Solver*. Namun jenis *setup solver* yang cocok digunakan pada perancangan antenna *microstrip* ini adalah *Time Domain Solver* dikarenakan *setup solver* tersebut memperhitungkan energi transmisi dari setiap sumber eksitasi, antara *port-port* dan struktur yang diselidiki dari ruang terbuka. Untuk mengaksesnya, pilih *simulation* > *setup solver* > *Time Domain Solver*. *Time Domain Solver* mempunyai tampilan seperti pada gambar 3.11.

Pada kolom *accuracy*, semakin kecil nilainya dB-nya maka lebih akurat hasil simulasi yang didapatkan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk simulasi juga akan lebih lama. Pada kolom *stimulation settings* > *Source Type* > *All ports*. Dipilih *All ports* dikarenakan semua *ports* pada antenna akan disimulasikan.

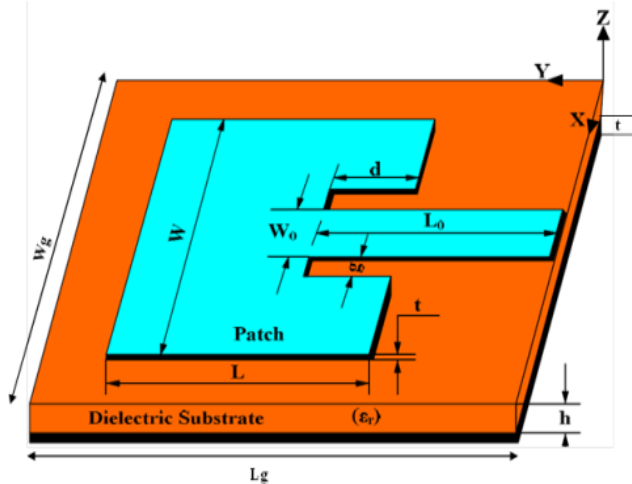


Gambar 3.11 Parameter pada *Time Domain Solver* sebelum melakukan simulasi.

Jika impedansi rancangan antenna tidak sama dengan 50 ohm dan ingin mengetahui nilai S-parameter dan VSWR antenna dengan impedansi 50 ohm maka pada kolom *S-parameter settings*, aktifkan bagian *Normalize to fixed impedance* dan mengisi kolom dibawahnya sebesar 50 karena hasil simulasi antenna akan menyesuaikan nilai-nilai tersebut dengan impedansi 50 ohm. Kemudian pada kolom *adaptive mesh refinement*, aktifkan *adaptive mesh refinement* tersebut agar kerapatan *mesh* (objek yang didiskritkan pada *Time Domain Solver*) dapat menyesuaikan dengan geometri antenna pada saat proses simulasi. Setiap objek akan disampel (*mesh*) menjadi kubus-kubus kecil yang memiliki 6 sisi (hexahedral). Hasil simulasi akan menjadi lebih akurat apabila jumlah sampel semakin banyak tetapi waktu yang diperlukan untuk simulasi akan lebih lama juga.

3.3 Desain dan Ukuran Single Element Antena *Microstrip*

Desain *single element* antena *microstrip* disesuaikan ukurannya dengan paper referensi agar hasil yang didapatkan maksimal. Desain antena dan dan ukuran antena dapat dilihat pada gambar 3.12 dan tabel 3.4



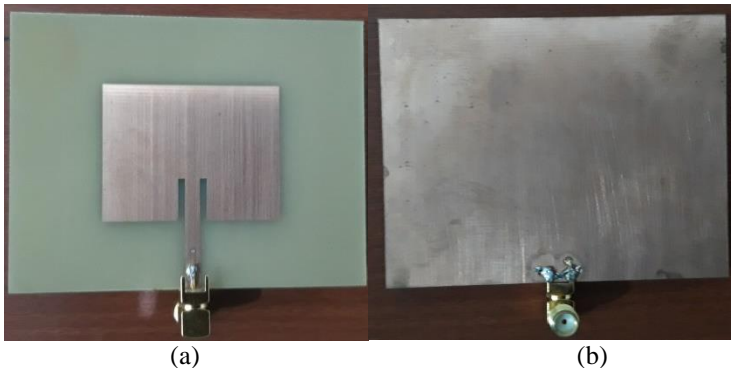
Gambar 3.12 Desain Antena

Tabel 3. 4 Ukuran Antena

Nama Parameter	Ukuran (mm)
W	38
L	29
Lo	23.35
g	1.5
Wo	3.137
d	8.85
Wg	76
Lg	58
t	0.035
h	1.6

3.4 Fabrikasi Antena *Microstrip*

Setelah tahap simulasi dilakukan pada software CST Studio Suite 2017 dan diperoleh hasil yang sesuai dengan paper referensi, maka tahap berikutnya adalah proses fabrikasi/pembuatan antena yang berdasarkan ukuran dimensi fisiknya. Tahapan ini memiliki tujuan yaitu membandingkan antena microstrip yang telah difabrikasi dengan pengukuran pada simulasi. Antena yang telah difabrikasi dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 (a) antena *microstrip* tampak depan, (b) antena *microstrip* tampak belakang

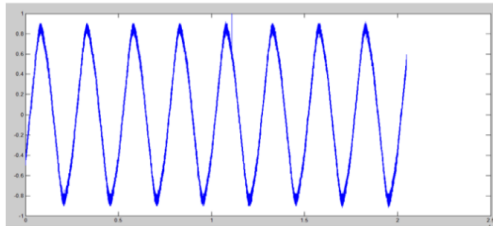
3.5. Proses Akuisisi Data

Akuisisi data sinyal tegangan dari osiloskop membutuhkan pengolahan sebagai berikut:

1. *File* yang disimpan melalui osiloskop berbentuk .csv sehingga dapat diedit melalui Microsoft excel.
2. *File* tersebut di konversi dari Microsoft excel menjadi grafik pada *software* MATLAB untuk mendapatkan kondisi gelombang ideal dan gelombang *partial discharge*.
3. Gelombang *partial discharge* akan diolah sehingga menjadi model PRPD (berbentuk titik) secara manual dengan menentukan nilai *noise* dengan *software* Microsoft excel.
4. Nilai PRPD yang sudah ditentukan akan kembali di plot pada *software* MATLAB sehingga dapat menampilkan grafik sinus dengan titik PRPD.

Adapun proses pengolahan data ditampilkan pada gambar 3.14

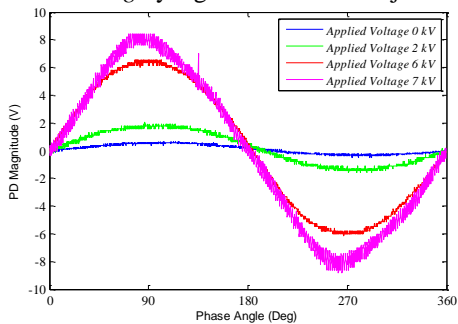
Partial Discharge yang dideteksi antenna



Data *partial discharge* yang disimpan di osiloskop

	A	B	C
	SHS00117		
	RecordLen...	VarName2	VarName3
	TEXT	NUMBER	TEXT
1	Record Len...	20480	
2	Sample Int...	CH1:0.0000...	
3	Vertical Units	CH1:V	
4	Vertical Scale	CH1:0.50	
5	Vertical Off...	CH1:0.32000	
6	Horizontal ...	s	
7	Horizontal ...	0.0100000000	
8	Model Nu...	SHS1062	
9	Serial Num...	SHS10GA11...	
10	Software V...	3.01.02.02R7	
11	Source	CH1	
12	Second	Volt	
13	-0.0819200...	-0.48000	
14	-0.0819120...	-0.48000	
15	-0.0819040...	-0.48000	
16	-0.0818960...	-0.38000	
17	-0.0818880...	-0.40000	
18	-0.0818800...	-0.40000	
19	-0.0818720...	-0.40000	
20	-0.0818640...	-0.40000	
21	-0.0818560...	-0.40000	
22	-0.0818480...	-0.50000	

Partial Discharge yang telah diolah menjadi PRPD



Gambar 3.14 Proses pengolahan data PRPD

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Tugas akhir ini akan membahas metode deteksi *partial discharge* dengan menggunakan metode *Ultra high frequency* (UHF) dan *leakage current*. Pengujian UHF dimulai dari desain serta simulasi antena *microstrip* untuk *bandwidth* frekuensi 2.4 GHz. Antena yang sudah siap akan digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi udara dan cair. Metode *leakage current* akan dijadikan metode untuk validator dan komparator. Metode *leakage current* menggunakan resistor dan *surge arrester*.

Simulasi antena *microstrip* bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter performa antena dalam keadaan *real* yang kemudian dibandingkan dengan data hasil simulasi antena. Adapun parameter-parameter tersebut, antara lain : *scattering parameter*, VSWR dan *bandwidth*. Pengujian dilakukan melalui perangkat *Vector Network Analysis* (VNA) serta didukung perangkat lain seperti kabel *coaxial semi-rigid* yang terdiri dari konektor *SMA-male* pada tiap-tiap ujungnya, konektor *N-male to SMA-female*, Konektor *N-male to SMA-male* sedangkan simulasi antena dilakukan melalui software CST Studio Suite 2017. Lokasi untuk pengujian antena dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi, Teknik Elektro ITS.

Pengujian akan dilakukan saat kondisi *pre-breakdown*. Sinyal diambil beberapa kV sebelum *breakdown* dengan alasan untuk menghindari lonjakan arus sesaat yang berpotensi merusak peralatan. Pengujian UHF dan *leakage current* dilakukan saat bersamaan agar hasil validasi dan komparasi lebih sesuai. *Pre-breakdown* ditandai dengan adanya korona berupa desis dan *glow*. Pengujian dilakukan di laboratorium tegangan tinggi Teknik Elektro ITS.

4.1 Metode Pengukuran

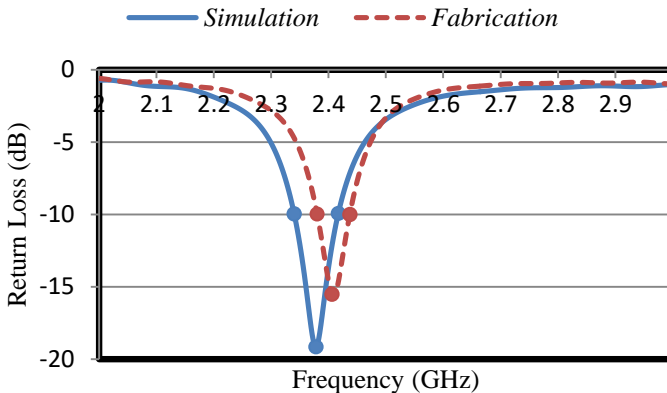
Metode untuk mengukur *scattering parameter*, VSWR dan *bandwidth* pada antena yaitu dengan menghubungkan antena yang terkoneksi SMA female dengan VNA yang terhubung konektor N-male to SMA male pada port 1 Selanjutnya, rentang frekuensi pada VNA diatur antara 2-3 GHz dan data yang didapatkan akan di

simpan menggunakan perangkat *flash disk* dengan format CSV agar dapat diolah dan dibandingkan dengan hasil simulasi.

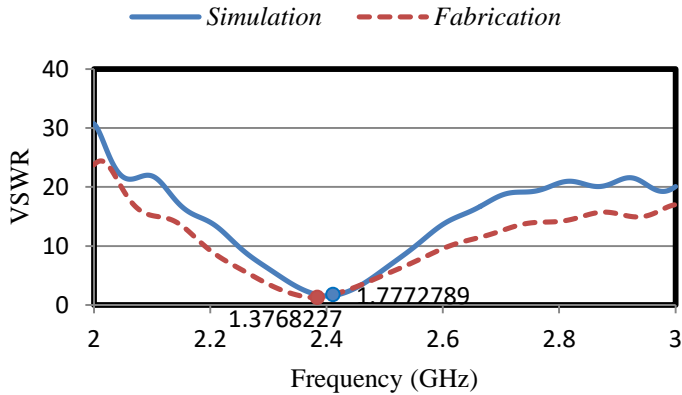
4.2 Desain, Simulasi dan Pengujian *Single Element*

Antena *microstrip* yang didesain menggunakan material substrat FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm dan permitivitas 4,3. Kemudian, lapisan tembaga menggunakan ketebalan 0,035 mm. Frekuensi kerja untuk antena adalah 2,4 GHz. Oleh karena itu, *range* frekuensi pada simulasi diatur berkisar 2 GHz hingga 3 GHz.

Analisa dilakukan pada performa antena seperti parameter $S_{1,1}$ dan VSWR. Hasil simulasi dan fabrikasi parameter $S_{1,1}$ ditunjukkan pada gambar 4.1. Hasil simulasi VSWR ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi S-Parameter pada Antena *Microstrip* 2.4 GHz



Gambar 4.2 Hasil Simulasi *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) pada Antena *Microstrip* 2.4 GHz

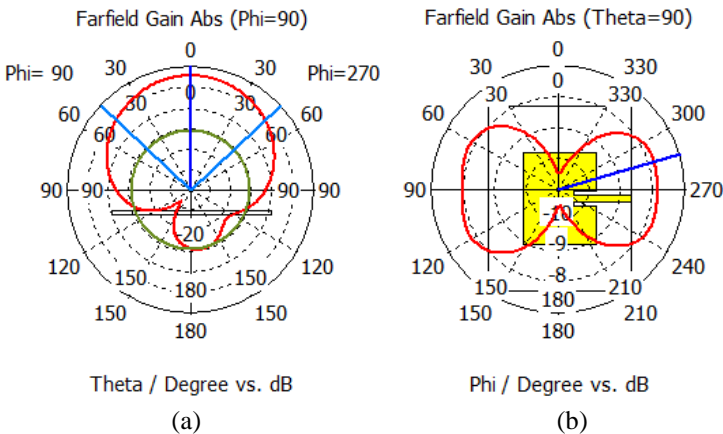
Gambar 4.1 menjelaskan bahwa sumbu x menyatakan frekuensi dan sumbu y menyatakan *return loss* yang diperoleh dari simulasi dan fabrikasi. Nilai parameter S1,1 simulasi yaitu 2,378 GHz dengan nilai -19,153 dB. Nilai tersebut mengartikan bahwa frekuensi akan bekerja maksimal. Namun frekuensi tersebut bergeser dari frekuensi pada referensi yaitu 2,4 GHz. Frekuensi pada parameter S1,1 tersebut mempunyai *bandwidth* sebesar $f = f_u - f_i = 2.4155 - 2.378 \text{ GHz} = 37.5 \text{ MHz}$ sedangkan Nilai parameter S1,1 fabrikasi yaitu 2,4057 GHz dengan nilai -15,591 dB. Nilai tersebut mengartikan bahwa frekuensi akan bekerja maksimal. Namun frekuensi tersebut bergeser dari frekuensi pada referensi yaitu 2,4 GHz. Frekuensi pada parameter S1,1 tersebut mempunyai *bandwidth* sebesar $f = f_u - f_i = 2.4261 - 2.377 \text{ GHz} = 49.1 \text{ MHz}$. Terdapatnya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil fabrikasi disebabkan nilai substrat *vendor* yang berbeda-beda ketika fabrikasi.

Pada gambar 4.2, sumbu x menyatakan *frequency* dan sumbu y menyatakan VSWR dari suatu antena, diperoleh nilai VSWR yang ≤ 2 pada *bandwidth* antena yang menandakan antena telah memenuhi spesifikasi. dalam simulasinya dimana nilai VSWR untuk simulasi adalah 1,7772789 dan nilai VSWR untuk fabrikasi adalah 1.3786277. Terdapatnya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil

fabrikasi disebabkan nilai substrat *vendor* yang berbeda-beda ketika fabrikasi. Tabel 4.1 merupakan kesimpulan nilai parameter antenna yang diuji berdasarkan gambar 4.1 – 4.2.

Tabel 4. 1 Parameter Performa Antena *Microstrip SingleElement*

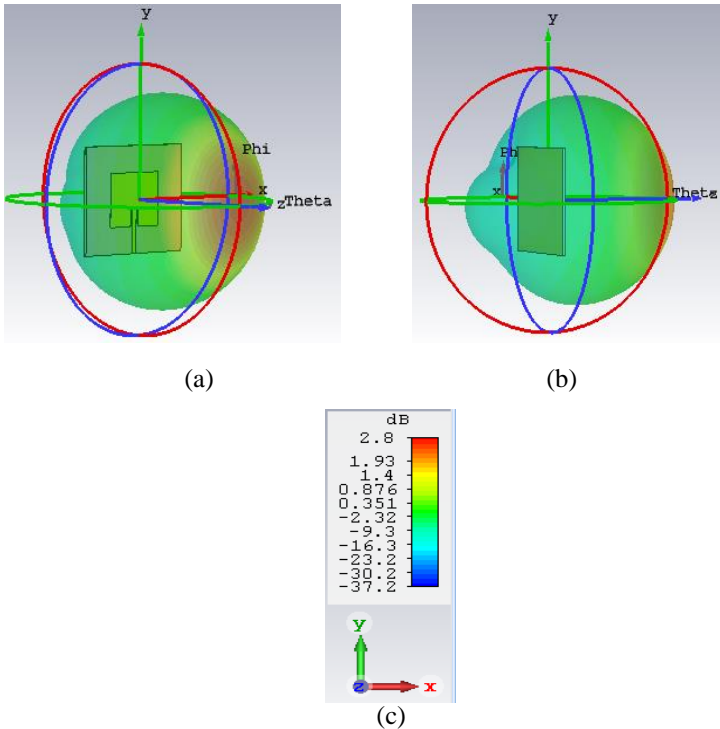
Parameter	Nilai	
	Simulasi	Fabrikasi
<i>Bandwidth</i> (MHz)	37.5	49.1
NNilai peak S1,1	-19 dB pada 2,378 GHz	-15dB pada 2.406 GHz
VSWR	1.77	1.37



Gambar 4. 3 Hasil pola radiasi 2D pada Antena *Microstrip* 2.4 GHz
(a) vertikal (b) horizontal

Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menyatakan bentuk pola radiasi 2D dan bentuk pola radiasi 3D. Dapat dilihat dari kedua gambar tersebut mempunyai gain sebesar 2.804 dB pada sisi depan antenna sehingga posisi antenna yang optimal untuk pengujian adalah berhadapan dengan elektroda pengujian. Selanjutnya, antenna mempunyai polarisasi berbentuk *omnidirectional* serta terarah *broadside* yang disebabkan oleh pola pancarannya yang berbentuk bola. Pada gambar 4.4 ,terdapat lingkaran biru pada bentuk polarisasi

yang diartikan pola pancaran elevasi antenna dan lingkaran merah yang menyatakan pola pancaran antenna dan bernilai maksimal pada sumbu z.



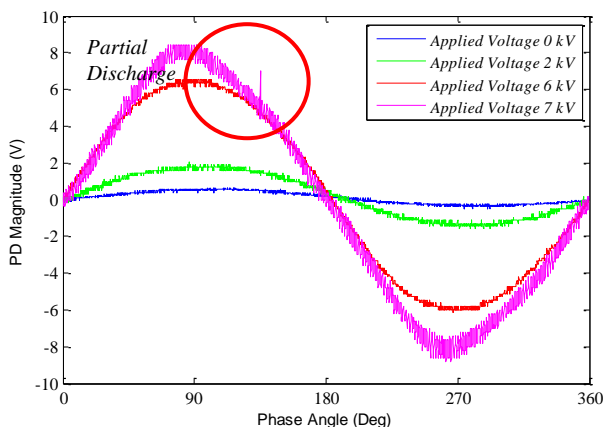
Gambar 4.4 Hasil pola radiasi 3D dan *gain* pada Antena *Microstrip* 2.4 GHz (a) antenna tampak depan (b) antenna tampak belakang (c) skala *gain*

4.3 Analisa Antena, Pembangkit dan Arus

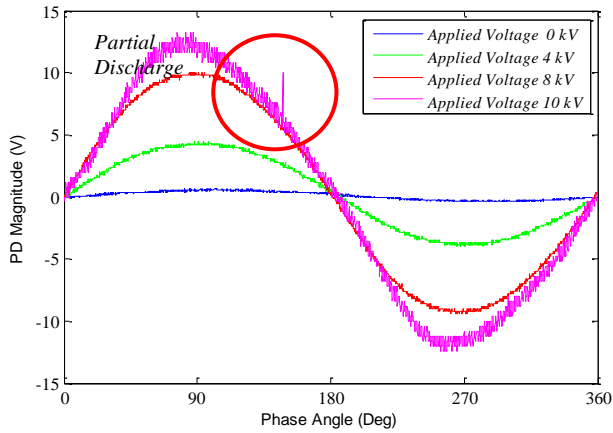
4.3.1 Analisa PD oleh Antena pada Isolasi Udara dengan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2 cm

Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antenna. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antenna juga meningkat. Hal tersebut

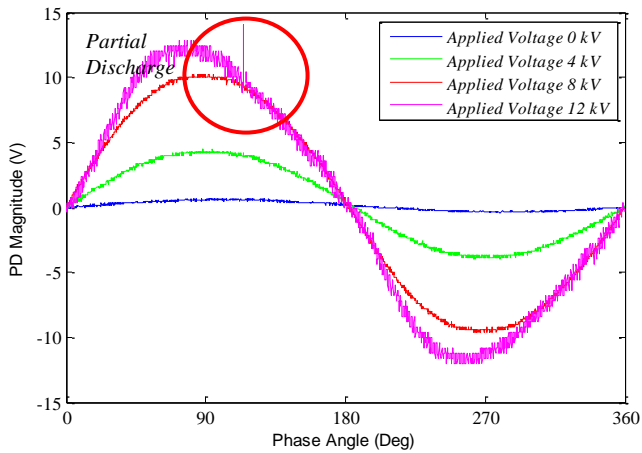
dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga. Analisa lain yang dapat diketahui adalah semakin tinggi jarak antar elektroda maka medan elektromagnetik yang dihasilkan akan semakin besar pula. Pada elektroda berjarak 1,5 cm dan 2 cm. Pada gambar 4.5, nilai amplitudo tegangan maksimum pada elektroda berjarak 1 cm sebesar 8 V. Kemudian pada gambar 4.6 dan gambar 4.7, nilai amplitudo tegangan maksimum pada elektroda berjarak 1.5 cm sebesar 13 V dan pada elektroda berjarak 2 cm sebesar 13 V.



Gambar 4.5 *Partial discharge* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.6 *Partial discharge* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm



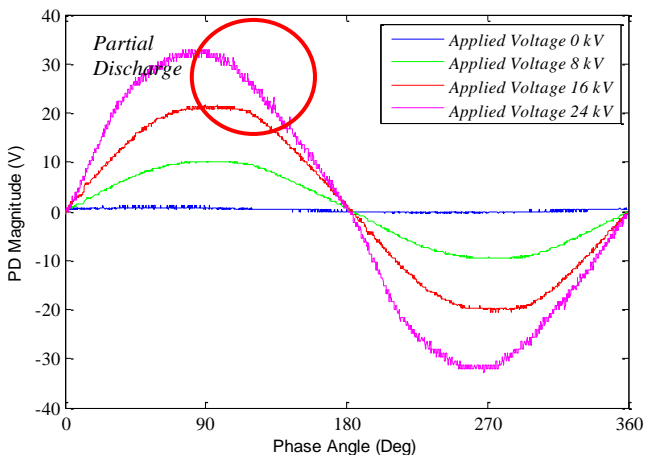
Gambar 4.7 *Partial discharge* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm

Nilai amplitudo tegangan maksimum yang dideteksi antenna mempunyai magnitude yang hampir sama disebabkan kekuatan deteksi antenna yang telah menurun / sensitivitasnya kurang baik. Gambar 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7 menampilkan hubungan

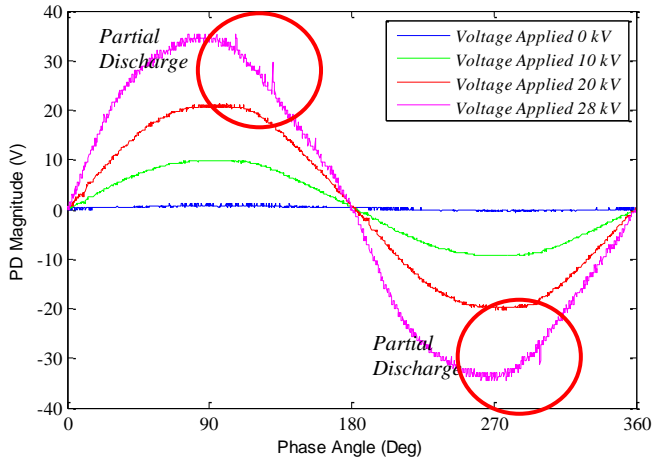
antara tegangan suplai dengan tegangan deteksi antenna pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm. Selain itu pada kondisi menuju *breakdown* akan terlihat *noise* yang menandakan medan elektromagnetik sesaat semakin besar sehingga *short circuit* mulai muncul atau tegangan hampir *breakdown*.

4.3.2 Analisa PD oleh Antena pada Isolasi Minyak dengan Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2 cm

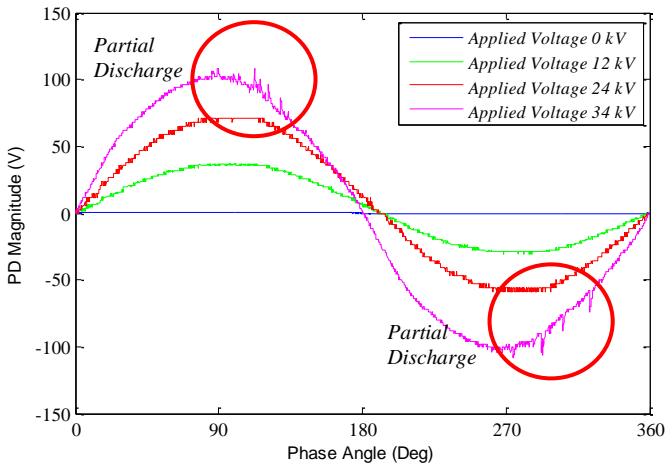
Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antenna. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antenna juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga. Analisa lain yang dapat diketahui adalah semakin tinggi jarak antar elektroda maka medan elektromagnetik yang dihasilkan akan semakin besar pula. Pada gambar 4.8, nilai amplitudo tegangan maksimum pada elektroda berjarak 1 cm sebesar 30 V. Selanjutnya pada gambar 4.9 dan gambar 4.10, nilai amplitudo tegangan maksimum pada elektroda berjarak 1.5 cm sebesar 31 V dan pada elektroda berjarak 2 cm sebesar 100 V.



Gambar 4.8 *Partial discharge* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.9 *Partial discharge* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm



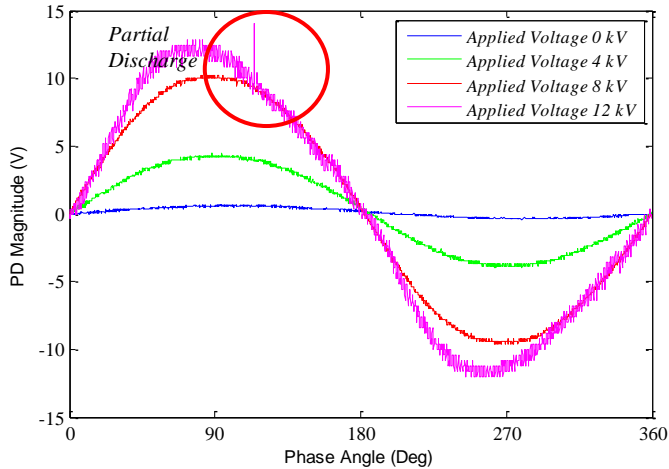
Gambar 4.10 *Partial discharge* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2cm

Nilai amplitudo tegangan maksimum yang dideteksi antenna pada elektroda 2 cm mempunyai magnitude hingga 100 V

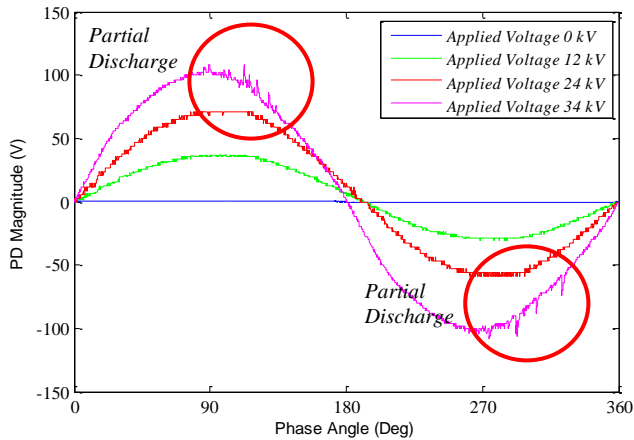
disebabkan kekuatan deteksi antenna pada kondisi optimal/sensitivitasnya sangat baik. Gambar 4.8, gambar 4.9 dan gambar 4.10 menampilkan hubungan antara tegangan suplai dengan tegangan deteksi antenna pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm. Selain itu pada kondisi menuju *breakdown* akan terlihat *noise* yang menandakan medan elektromagnetik sesaat semakin besar sehingga *short circuit* mulai muncul atau tegangan hampir *breakdown*.

4.3.3 Analisa PD oleh Antena pada 2 Isolasi Berbeda

Isolasi udara dan isolasi minyak memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut karena kemampuan isolasi minyak lebih baik dibandingkan isolasi udara. Isolasi minyak membutuhkan gelembung udara untuk mengalami kondisi *pre-breakdown* sehingga nilai tegangan ketika *pre-breakdown* juga lebih tinggi dibandingkan udara. Pada gambar 4.11, nilai tegangan *pre-breakdown* isolasi udara saat menggunakan elektroda *point to plane* berbahan *stainless steel* dengan jarak antar elektroda sebesar 2 cm adalah 12 kV. Sedangkan pada gambar 4.12 nilai tegangan *pre-breakdown* isolasi minyak membutuhkan tegangan sebesar 34kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui bahwa isolasi minyak menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih besar dibandingkan isolasi udara. Magnitude (tegangan) PD pada isolasi minyak lebih tinggi dan banyak dibandingkan dari isolasi udara karena medan elektromagnetik yang dihasilkan ketika *corona discharge* lebih tinggi. Gambar 4.11 dan gambar 4.12 menampilkan perbedaan sinyal PD pada isolasi cair dan udara yang diterima oleh antenna saat menggunakan elektroda jarum ke datar berbahan *stainless steel* dengan jarak antar elektroda 2cm. Selain itu pada kondisi menuju *breakdown* akan terlihat *noise* yang menandakan medan elektromagnetik sesaat semakin besar sehingga *short circuit* mulai muncul atau tegangan hampir *breakdown*.



Gambar 4.11 *Partial discharge* pada stainless steel 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara



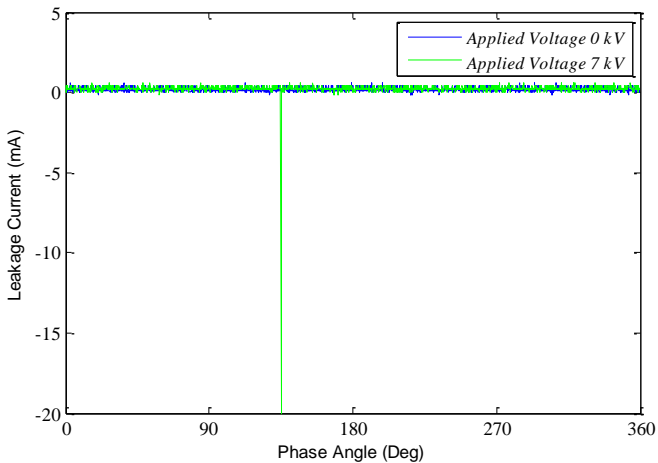
Gambar 4.12 *Partial discharge* pada stainless steel 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi minyak.

4.3.4 Analisa Arus ketika PD pada Isolasi Udara

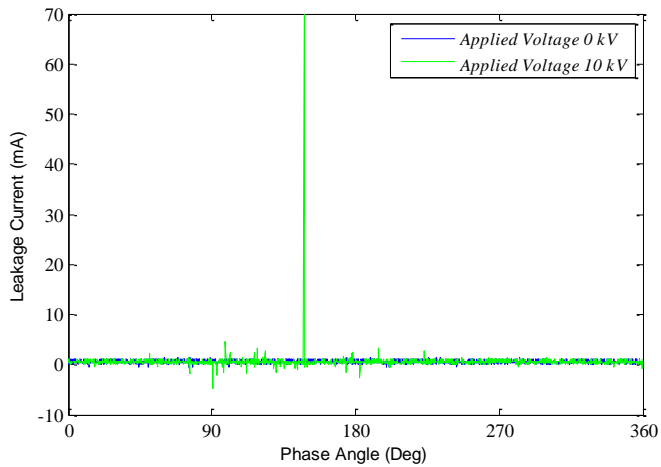
Setiap bahan isolasi akan menghantarkan arus. Jika applied voltage dinaikkan hingga kondisi tertentu, elektron-elektron akan saling bertubrukan yang mengakibatkan isolator teraliri arus. Arus

bocor dapat dipengaruhi oleh bahan, temperatur dan kontaminasi. Arus bocor yang semakin meningkat akan menyebabkan panas dan terjadi kegagalan isolasi secara bertahap.

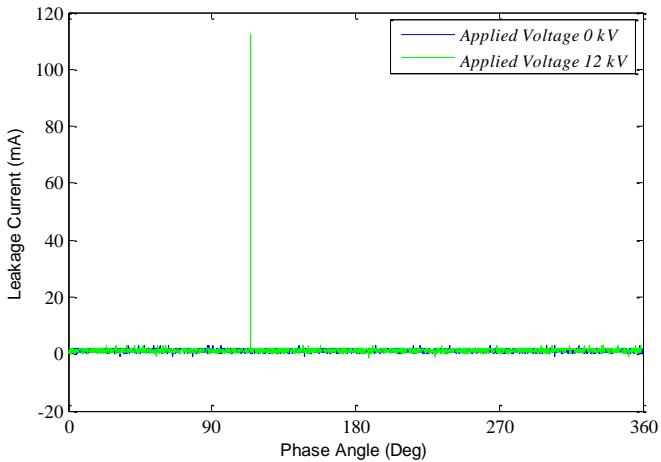
Pada gambar 4.13, nilai *leakage current* pada elektroda berjarak 1 cm sebesar -20 mA. Kemudian pada gambar 4.14 dan gambar 4.15, nilai *leakage current* pada elektroda berjarak 1.5 cm sebesar 70 mA dan pada elektroda berjarak 2 cm sebesar 115 mA. Dapat disimpulkan dari gambar 4.13, gambar 4.14 dan gambar 4.15 bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka magnitude arus bocor akan semakin besar.



Gambar 4.13 *Leakage current* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.14 *Leakage current* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm

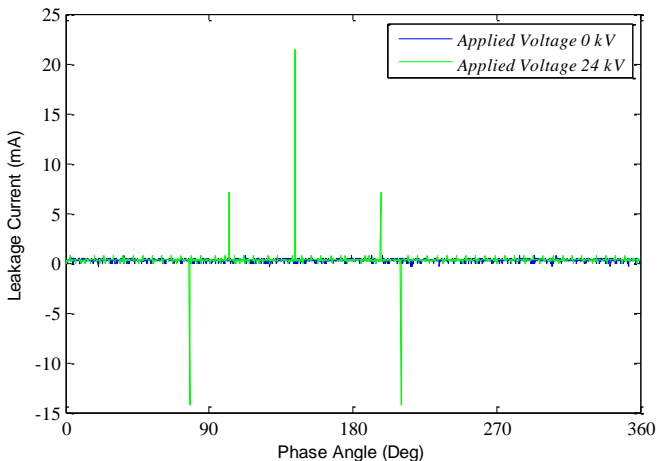


Gambar 4.15 *Leakage current* pada isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm

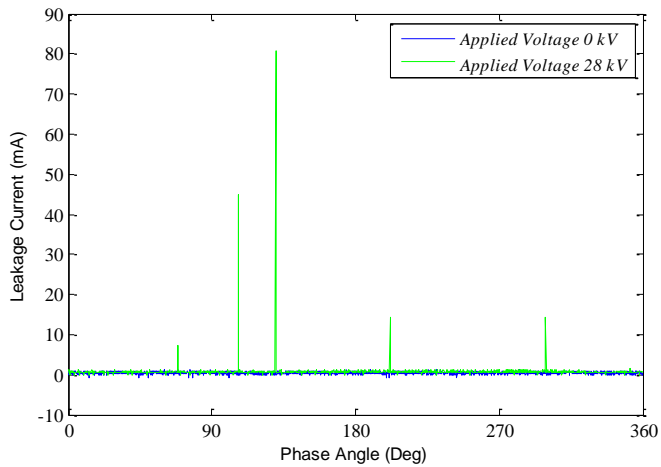
4.3.5 Analisa Arus ketika PD pada Isolasi Minyak

Setiap bahan isolasi akan menghantarkan arus. Jika applied voltage dinaikkan hingga kondisi tertentu, elektron-elektron akan saling bertubrukan yang mengakibatkan isolator teraliri arus. Arus bocor dapat dipengaruhi oleh bahan, temperatur dan kontaminasi. Arus bocor yang semakin meningkat akan menyebabkan panas dan terjadi kegagalan isolasi secara bertahap.

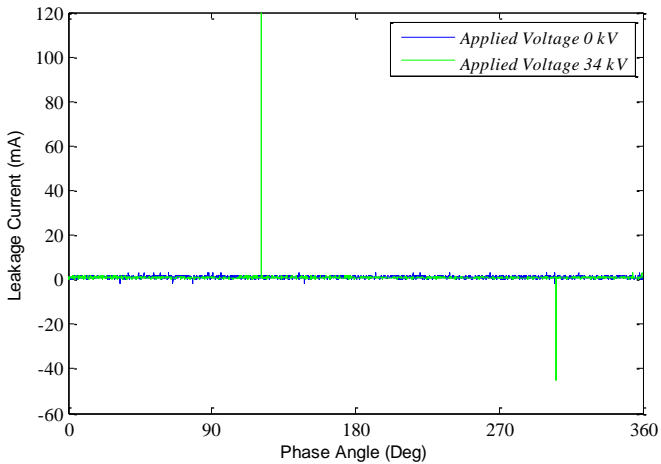
Pada gambar 4.8 merupakan arus bocor ketika terjadi *partial discharge* pada isolasi udara. Nilai *leakage current* pada elektroda berjarak 1 cm sebesar 20 mA. Kemudian nilai *leakage current* pada elektroda berjarak 1.5 cm sebesar 80 mA selanjutnya nilai *leakage current* pada elektroda berjarak 2 cm sebesar 120 mA. Dapat disimpulkan semakin besar jarak antar elektroda maka magnitude arus bocor akan semakin besar. Nilai *Leakage Current* terjadi saat *pre-breakdown* yang mendekati tembus. Hal tersebutlah yang menyebabkan pada *applied voltage* 24kV, 28kV, dan 34kV memiliki nilai arus yang melonjak drastis.



Gambar 4.16 *Leakage current* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.17 *Leakage current* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm

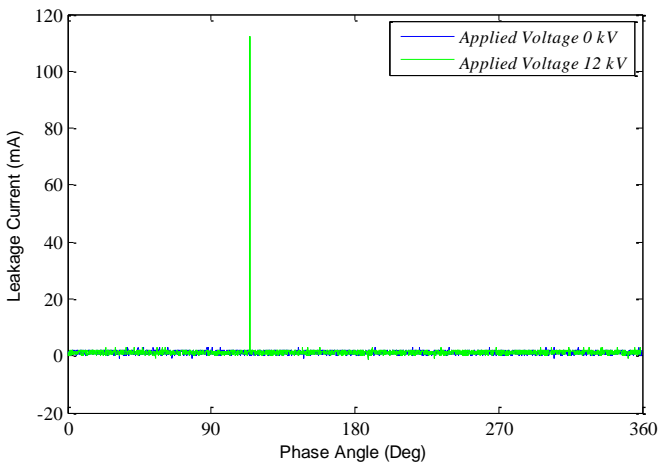


(c)

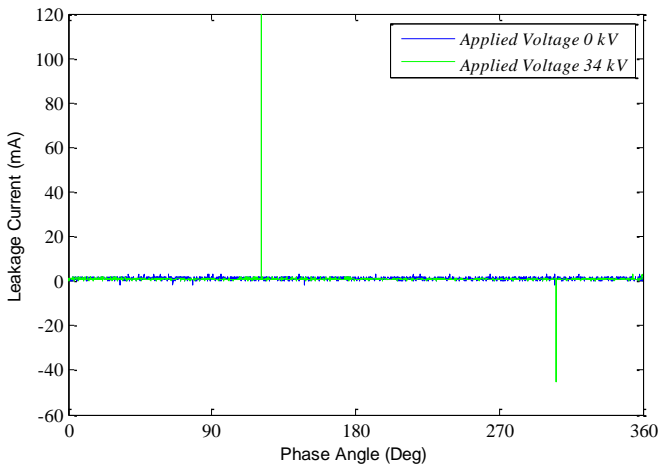
Gambar 4.18 *Leakage current* pada isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2cm

4.3.6 Analisa Arus ketika PD pada 2 Isolasi Berbeda

Isolasi udara dan isolasi minyak memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut karena kemampuan isolasi minyak lebih baik dibandingkan isolasi udara. Isolasi minyak membutuhkan gelembung udara untuk mengalami kondisi *pre-breakdown* sehingga nilai arus ketika *pre-breakdown* juga lebih tinggi dibandingkan udara. Pada gambar 4.19, nilai *leakage current* pada *stainless steel* 2mm dengan isolasi udara sebesar 115 mA dan pada gambar 4.20, nilai *leakage current* pada *stainless steel* 2mm dengan isolasi minyak sebesar 120 mA. Terjadinya *leakage current* dalam 1 gelombang pada *stainless steel* 2mm dengan isolasi udara sebanyak 1 kali sedangkan Terjadinya *leakage current* dalam 1 gelombang pada *stainless steel* 2mm dengan isolasi udara sebanyak 4 kali. Dapat disimpulkan bahwa nilai *leakage current* pada isolasi minyak lebih besar dibandingkan isolasi udara dan banyak terjadinya *leakage current* pada isolasi minyak lebih banyak dibandingkan isolasi udara. Hal ini disebabkan *applied voltage* untuk *leakage current* pada isolasi minyak (34 kV) lebih besar dibandingkan isolasi udara sebesar (12 kV) dan kekuatan dielektrik masing-masing isolasi.



Gambar 4.19 *Leakage current* pada *stainless steel* 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara



Gambar 4.20 *Leakage current* pada *stainless steel* 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi minyak.

4.4 Analisa PRPD

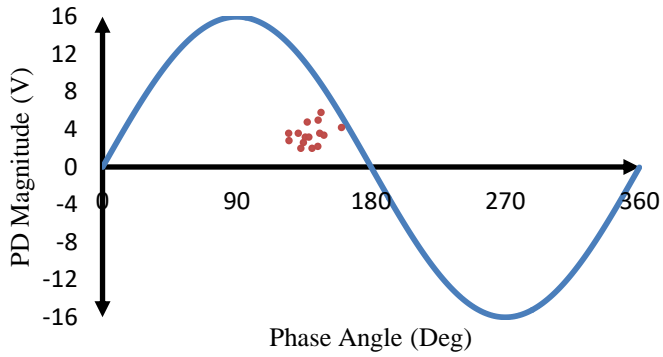
Phase Resolved Partial discharge (PRPD) adalah metode yang mengukur dan merekam sinyal *partial discharge* pada siklus fasa tegangan yang berbeda. PRPD digunakan dalam menghitung banyaknya jumlah peluahan sebagian yang terjadi selama waktu tertentu. Analisa PRPD hanya dapat dilakukan saat kondisi *pre-breakdown*. Hasil yang didapatkan dapat terdistraksi oleh dipengaruhi oleh *noise* (gangguan sinyal). Variasi pengujian yang dilakukan adalah 2 isolasi berupa cair dan udara dengan jarak antar elektroda 1cm, 1.5cm dan 2cm.

4.4.1 Analisa PRPD pada Isolasi Udara Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2cm.

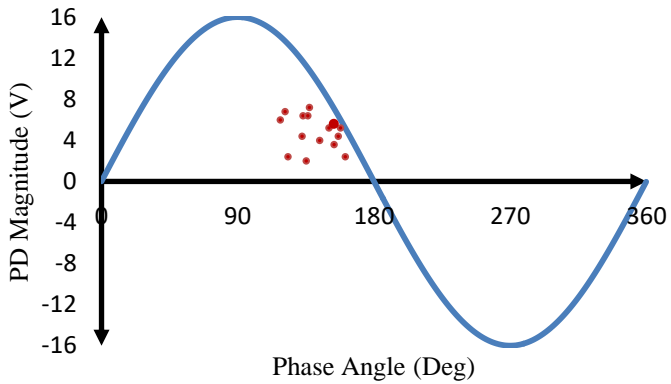
Ketika tegangan *applied* pada elektroda runcing melebihi kekuatan *breakdown* udara, ionisasi disekitar elektroda runcing akan terjadi. *Streamer* positif dan *streamer* negatif dibentuk berdasarkan polaritas tegangan *applied*. *Streamer-streamer* tersebut merupakan *corona discharge*. *Corona discharge* tetap terjadi hingga *transient activity* berhenti dimana discharge tersebut menjadi *self sustained* dan cahaya akan muncul mendekati anoda [15]. Ketika tegangan

applied meningkat, jumlah streamer akan berkembang lebih banyak terjadi dan saluran *streamer* dapat tumbuh lebih lama. Medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda runcing meningkat seiring amplitudo tegangan *applied* sehingga memungkinkan terjadinya lebih banyak PD.

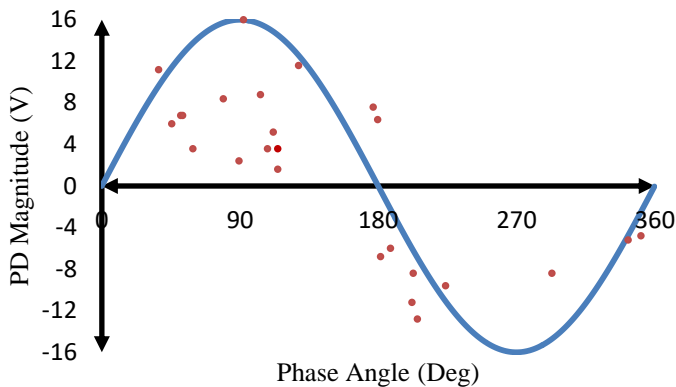
Gambar 4.21 hingga 4.23 menunjukkan pola PD ϕ -q-n pada udara dengan tegangan *applied* 7 kV (1cm), 10 kV (1.5cm) dan 12 kV (2cm). Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD, Pola ini didapatkan dari 15 cycles dimana setiap titik merepresentasikan pulsa PD. Dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat dilihat bahwa *corona discharge* tersebut hanya muncul pada siklus positif. Ada 2 penyebab peristiwa tersebut dapat terjadi. Pertama, elektron sudah tersedia dari elektroda polaritas positif untuk mengionisasi molekul udara netral disekitarnya untuk menghasilkan banjiran. Kedua, pada tegangan *applied* yang rendah, probabilitas mendapat elektron bebas awal yang disebabkan oleh elektroda negatif yang bertujuan untuk memulai ionisasi adalah rendah. Dengan demikian, tidak ada *corona discharge* pada siklus negatif tegangan *applied* 7 kV dan 10kV. Berbeda pada gambar 4.23 *corona discharge* juga muncul ketika siklus negatif. Pada gambar 4.21, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa sekitar 135° . Pada gambar 4.22, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa sekitar 150° . Besaran maksimum PD terjadi pada sudut fasa 90° . Dari gambar 4.21, gambar 4.22 dan gambar 4.23 dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka PRPD akan tersebar semakin jauh dan jumlah PRPD akan meningkat. Jumlah titik PRPD ditampilkan pada tabel 4.2



Gambar 4.21 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.22 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 1.5cm



Gambar 4.23 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi udara dengan jarak antar elektroda 2cm

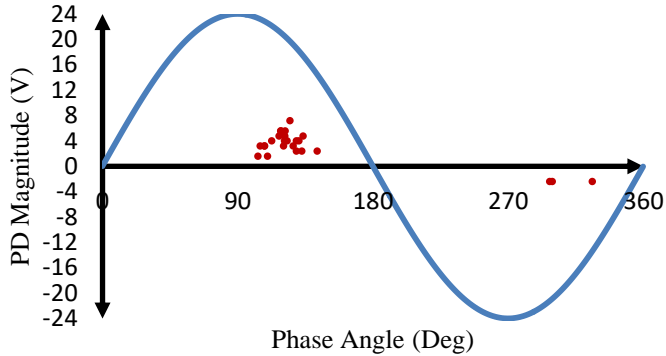
Tabel 4. 2 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD (isolasi udara)

Jarak Antar Elektroda (cm)	Jumlah Titik PRPD
1	15
1.5	15
2	25

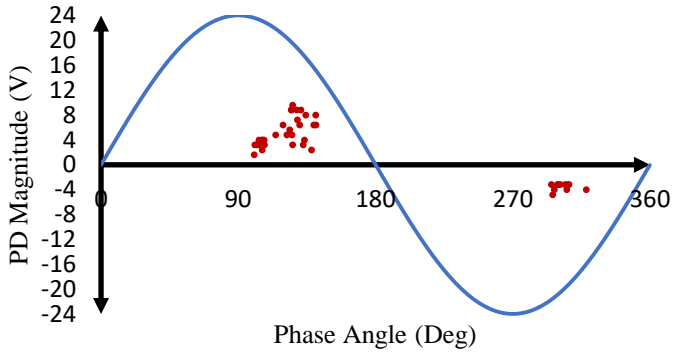
4.4.2 Analisa PRPD pada Isolasi Minyak Jarak Elektroda 1cm, 1.5cm dan 2cm.

Ketika tegangan *applied* pada elektroda runcing melebihi kekuatan *breakdown* udara, ionisasi disekitar elektroda runcing akan terjadi. *Streamer* positif dan *streamer* negatif dibentuk berdasarkan polaritas tegangan *applied*. *Streamer-streamer* tersebut merupakan *corona discharge*. *Corona discharge* tetap terjadi hingga *transient activity* berhenti dimana discharge tersebut menjadi *self sustained* dan cahaya akan muncul mendekati anoda [15]. Ketika tegangan *applied* meningkat, jumlah streamer akan berkembang lebih banyak terjadi dan saluran streamer dapat tumbuh lebih lama. Medan listrik yang mengelilingi ujung elektroda runcing meningkat seiring

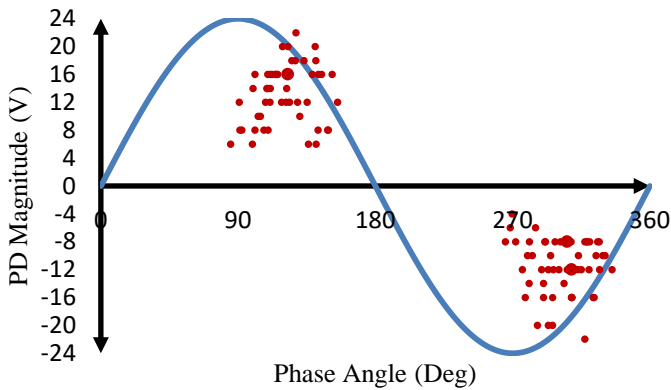
ampiltudo tegangan applied sehingga memungkinkan terjadinya lebih banyak PD.



Gambar 4.24 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1cm



Gambar 4.25 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 1.5cm



Gambar 4.26 *Stainless steel* berdiameter 2mm isolasi minyak dengan jarak antar elektroda 2 cm

Gambar 4.24 hingga 4.26 menunjukkan pola PD ϕ -q-n pada udara dengan tegangan *applied* 24 kV (1cm), 28 kV (1.5cm) dan 34 kV (2cm). Sumbu X menyatakan sudut fasa dan sumbu Y menyatakan besaran PD, Pola ini didapatkan dari 15 *cycles* dimana setiap titik merepresentasikan pulsa PD. Dari gambar 4.24 – 4.26 dapat dilihat bahwa *corona discharge* tersebut muncul pada siklus positif dan negatif.

Tabel 4. 3 Tabel hubungan jarak dengan jumlah titik PRPD (isolasi minyak)

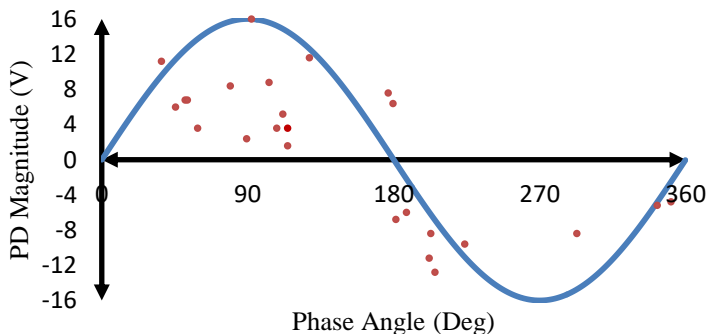
Jarak Antar Elektroda	Jumlah Titik PRPD
1	15
1.5	41
2	103

Pada gambar 4.24 dan 4.25, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa antara 90° dan 135° sedangkan siklus negative terjadi disekitar sudut 315°. Pada gambar 4.26, *corona discharge* siklus positif terjadi pada sudut fasa antara 90° dan 180° sedangkan siklus negative terjadi diantara fasa 270° dan 360°. Dari

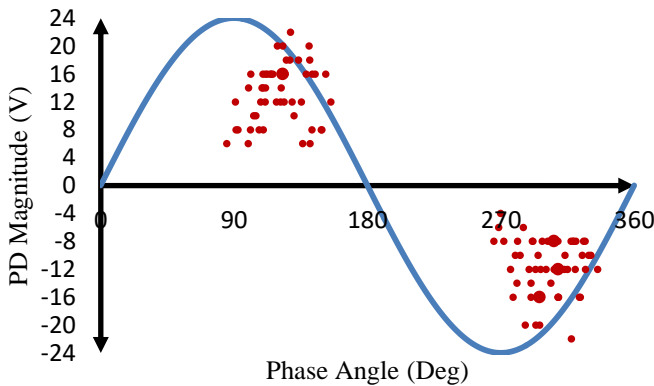
gambar 4.24, gambar 4.25 dan gambar 4.26 dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka PRPD akan tersebar semakin jauh dan jumlah PRPD akan meningkat. Jumlah titik PRPD ditampilkan pada tabel 4.3.

4.4.3 Analisa PRPD pada 2 Isolasi berbeda (Isolasi Udara dan Isolasi Minyak)

Isolasi udara dan isolasi minyak memiliki karakteristik pengujian yang berbeda. Hal tersebut karena kemampuan isolasi minyak lebih baik dibandingkan isolasi udara. Isolasi minyak membutuhkan gelembung udara untuk mengalami kondisi *pre-breakdown* sehingga nilai tegangan ketika *pre-breakdown* juga lebih tinggi dibandingkan udara. Nilai tegangan *pre-breakdown* isolasi minyak saat menggunakan elektroda *point to plane* berbahan *stainless steel* dengan jarak antar elektroda sebesar 2cm adalah 34kV. Sedangkan pada isolasi udara hanya membutuhkan tegangan sebesar 12kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui bahwa isolasi minyak menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih besar dibandingkan isolasi udara. Titik PRPD pada isolasi minyak lebih banyak dibandingkan dari isolasi udara karena medan elektromagnetik yang dihasilkan ketika *corona discharge* lebih tinggi. Gambar 4.27 dan gambar 4.28 menampilkan perbedaan sinyal pada isolasi cair dan udara yang diterima oleh antenna saat menggunakan elektroda jarum ke datar berbahan *stainless steel* dengan jarak antar elektroda 2cm.



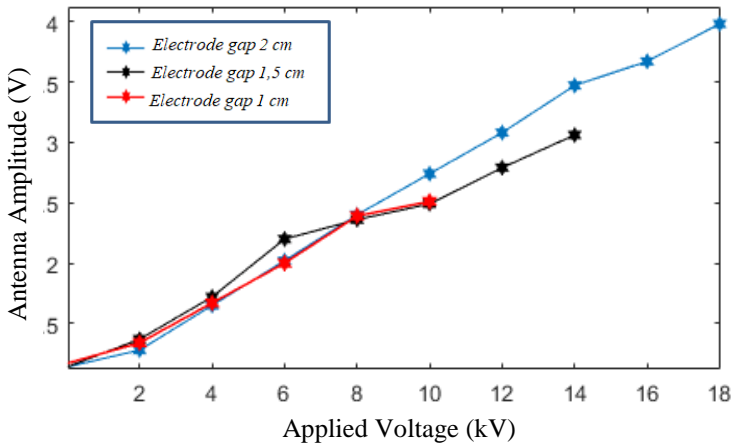
Gambar 4. 27 *Stainless steel* berdiameter 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara



Gambar 4.28 *Stainless steel* berdiameter 2mm dengan jarak antar elektroda 2cm pada isolasi udara

4.5 Analisa Amplitudo Tegangan Antena

Partial discharge (PD) dapat diketahui melalui amplitudo tegangan yang diterima oleh antena. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa semakin tinggi tegangan suplai pada elektroda maka tegangan yang diterima oleh antena juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh medan elektromagnetik yang muncul diantara kedua elektroda semakin kuat juga. Analisa lain yang dapat diketahui adalah semakin tinggi jarak antar elektroda maka medan elektromagnetik yang dihasilkan akan semakin besar pula. Nilai amplitudo tegangan yang diterima paling besar oleh antena terjadi pada elektroda berjarak 2 cm. Nilai amplitudo tegangan paling rendah terjadi ketika jarak antar elektroda terendah. Nilai-nilai tersebut merupakan *attenuation* 10X dari *probe*. Gambar 4.29 menampilkan hubungan antara tegangan suplai dengan tegangan pembacaan antena pada isolasi udara dengan elektroda jarum ke datar berdiameter 2mm.



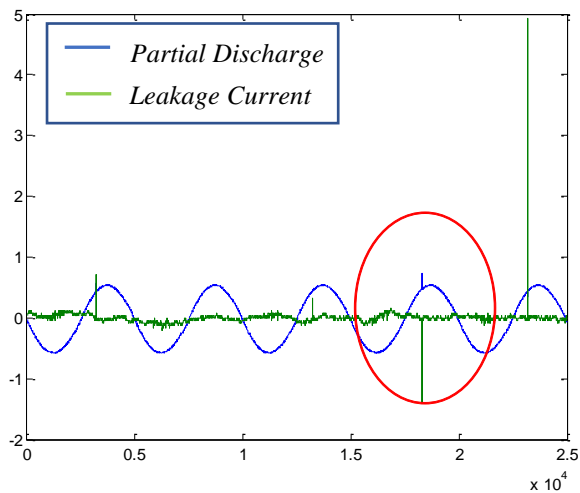
Gambar 4.29 Grafik pembacaan amplitude antenna setiap kenaikan tegangan suplai

4.6 Metode *Leakage current* Sebagai Validasi Data

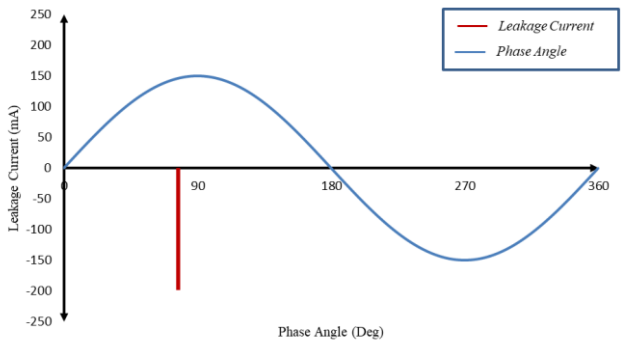
Metode *Leakage current* untuk validasi data *partial discharge*. Metode *Leakage current* yang digunakan merupakan *plotting* arus bocor terhadap sudut fasa pada *partial discharge* yang terdeteksi antenna saat beberapa kV sebelum *breakdown* pada isolasi cair. Arus bocor dideteksi dengan menggunakan kabel *grounding* yang diserikan resistor $56,6\Omega$ dan ditampilkan dengan menggunakan *Handheld Digital Oscilloscope*. MATLAB merupakan *software* untuk pengolahan data setelah data disimpan dalam *oscilloscope*. *Plotting* gambar menggunakan *software* Microsoft Excel.

Data yang divalidasi merupakan nilai arus (mA) pada kondisi 3kV sebelum *breakdown* pada isolasi udara dan 4 kV sebelum *breakdown* pada isolasi. Gambar 4.30 menggambarkan grafik arus terhadap sudut fasa terjadinya *partial discharge*. Dari gambar 4.30 dapat diketahui bahwa pada sudut sekitar 80° terjadi *partial discharge* dan *leakage current*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa *leakage current* dapat memvalidasi *partial discharge*. Dari gambar 4.30 dapat diubah menjadi gambar 4.31 agar memudahkan dalam analisa. Rekapitulasi 1 grafik akan dilakukan setiap 3 kondisi jarak dengan media isolasi yang sama. Kondisi jarak tersebut adalah 1, 1.5

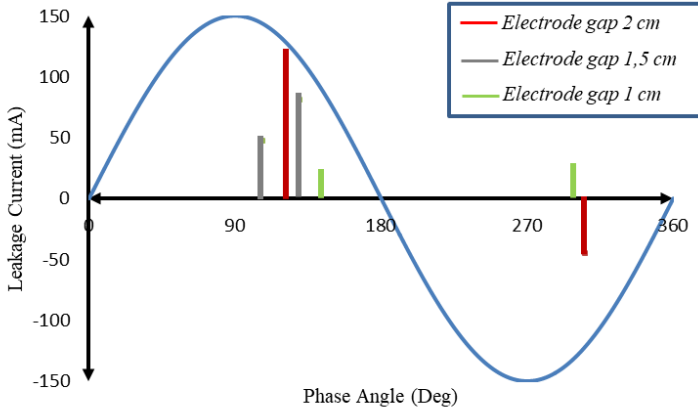
dan 2 cm pada diameter 2 mm. Analisa dilakukan pada kondisi tersebut cair disebabkan antena dapat menangkap *partial discharge* dengan optimal dan menghindari terjadinya *breakdown* yang dapat menyebabkan *ultra high frequency* menjadi rusak.



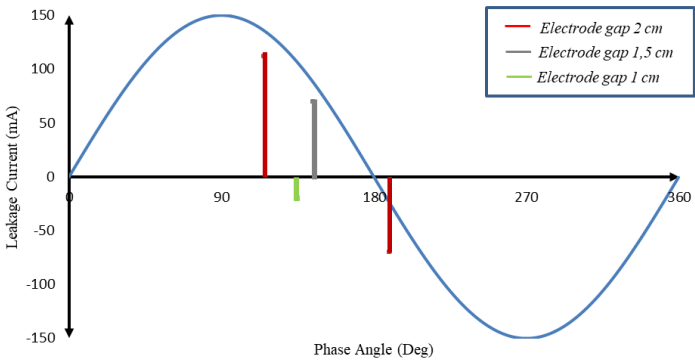
Gambar 4.30 Data *ultra high frequency* tentang validasi *Partial discharge* dengan *Leakage current*



Gambar 4.31 Grafik *leakage current* terhadap sudut terjadinya *partial discharge*



Gambar 4.32 *Leakage current* pada Isolasi Cair

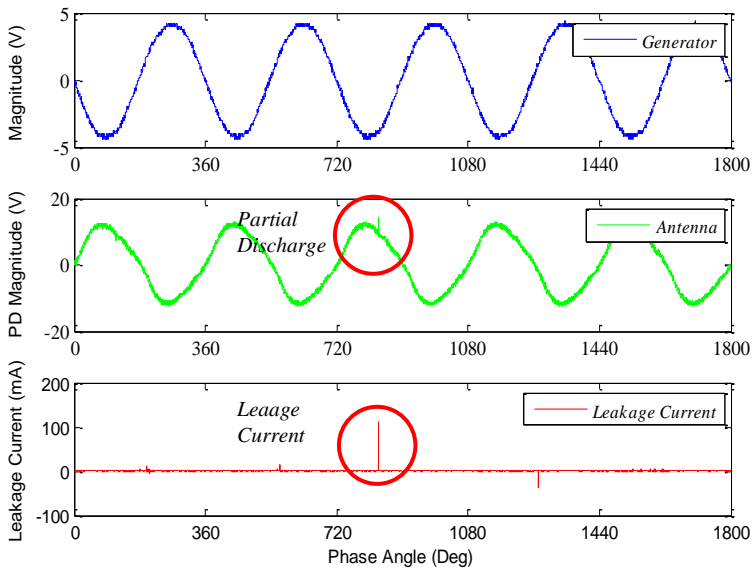


Gambar 4.33 *Leakage current* pada isolasi Udara

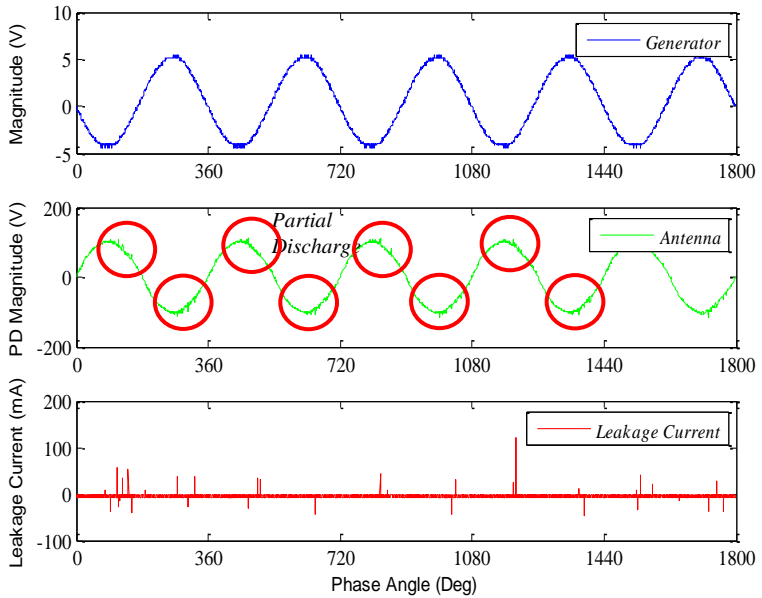
Dari gambar 4.32 - 4.33 dapat dilihat lonjakan arus akan semakin tinggi jika jarak semakin besar. Nilai arus tidak bernilai positif selamanya atau dengan kata lain, nilai arus dapat bernilai negatif karena menggunakan sumber tegangan AC. *Leakage current* pada isolasi cair lebih besar dari *leakage current* pada isolasi udara.

4.7 Perbandingan Metode Deteksi *Partial discharge* dengan Metode UHF dan *Leakage current*

Metode deteksi *partial discharge* dengan metode antenna UHF mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan metode *leakage current*. Metode antenna UHF dapat membentuk pola *partial discharge* tentang besaran dan sudut terjadinya. Metode antenna UHF lebih ekonomis dibandingkan metode *leakage current* dikarenakan hanya memerlukan antenna *microstrip* dan *ultra high frequency*. Gambar 4.34 menjelaskan validasi PD yang dideteksi antenna dengan metode *leakage current* pada isolasi udara dan gambar 4.35 menjelaskan validasi PD yang dideteksi antenna dengan metode *leakage current* pada isolasi cair



Gambar 4.34 Sikronisasi validasi PD pada isolasi udara dengan *stainless steel* 2cm dan elektroda berjarak 2cm oleh pembangkit AC, antenna dan *leakage current*



Gambar 4.35 Sikronisasi validasi PD pada isolasi minyak dengan *stainless steel* 2cm dan elektroda berjarak 2cm oleh pembangkit AC, antenna dan *leakage current*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa tentang deteksi *partial discharge* pada isolasi cair dan isolasi udara dengan menggunakan antenna mempunyai beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1 Parameter performa seperti frekuensi kerja, *return loss* dan VSWR berdasarkan hasil pengujian dan simulasi seperti ditunjukkan pada tabel 4.1 dapat memenuhi aturan umum dalam mendesain antenna.
- 2 Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian antenna mikrostrip single element, parameter S_{1,1} mengalami pergeseran 28 MHz disebabkan adanya perbedaan nilai permitivitas substrat pada antenna yang setelah fabrikasi dengan antenna setelah simulasi.
- 3 Jarak elektroda dan media isolasi dapat mempengaruhi besaran PD dan banyaknya titik PRPD.
- 4 Metode deteksi *partial discharge* dapat dilakukan dengan menggunakan antenna UHF (*Ultra high frequency*) dan *leakage current*.
- 5 Antena berfrekuensi UHF (*Ultra high frequency*) lebih baik dibandingkan metode *leakage current* untuk mendeteksi *partial discharge* dikarenakan metode *leakage current* sulit untuk membentuk pola *partial discharge*.

5.2 Saran

Tugas akhir selanjutnya mempunyai beberapa saran, sebagai berikut :

- 1 Kenaikan tegangan akan mempengaruhi *partial discharge*. Oleh karena itu, pengaruh kenaikan tegangan terhadap PRPD dapat dilakukan dimasa mendatang
- 2 Penelitian masa mendatang tentang pengaruh bahan isolasi jenis-jenis minyak lainnya terhadap *partial discharge* dengan menggunakan antenna berfrekuensi UHF dapat dilakukan selanjutnya dikarenakan setiap bahan isolasi mempunyai tagangan tembus dan PRPD yang berbeda-beda.

- 3 Deteksi *partial discharge* dapat dipengaruhi oleh jarak antena terhadap elektroda pengujian sehingga penelitian pengaruh perbedaan jarak dapat dilakukan selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Khayam *et al.*, “Effect of the presence of epoxy spacer on transmission rate of electromagnetic wave propagating through T-branch of 66 kV GIS model tank,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 6, pp. 2254–2261, Dec. 2013.
- [2] School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia and U. Khayam, “Analysis of Distribution, Pattern, and Vector of Electric Field in the Inter Phases Region of Three-phase Gas Insulated Switchgear,” *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 5, no. 4, pp. 492–500, Dec. 2013.
- [3] A. Bhure, E. G. Strangas, J. Agapiou, and R. M. Lesperance, “Partial discharge detection in medium voltage stators using an antenna,” in *2017 IEEE 11th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, Tinos, Greece, 2017, pp. 480–485.
- [4] W. E. P. S. Ediriweera, K. S. Priyanayana, R. M. A. P. Rajakaruna, R. A. K. G. Ranasinghe, J. R. Lucas, and R. Samarasinghe, “Microstrip Patch Antenna for Partial Discharge detection as a condition monitoring tool of power system assets,” in *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Moratuwa, Sri Lanka, 2017, pp. 368–372.
- [5] Wenbo Fan *et al.*, “Comparison study of partial discharge detection methods for switchgears,” in *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, Xi'an, China, 2016, pp. 319–323.
- [6] N. Ra and U. Khayam, “Partial discharge measurement of 4 types of electrodes configuration in air insulation using high frequency current transformer sensor,” 2015, pp. 100–105.
- [7] K. S. Widyaningrum, D. K. Setiawan, and B. S. Kaloko, “Pengaruh Variasi Suhu Destilasi Terhadap Karakteristik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair pada Transformator Daya,” *BERKALA SAINSTEK*, vol. 5, no. 1, p. 41, Sep. 2017.
- [8] I Made Yulistya Negara, *Teknik Tegangan Tinggi : Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

- [9] “ANALISIS KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK KEDELAI (SOYBEAN OIL) DENGAN VARIASI SUHU SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK ISOLASI.”
- [10] T. Pardede and F. Murdiya, “Studi Karakteristik Tegangan Tembus DC Polaritas Positif Pada Gas Nitrogen (N₂),” vol. 4, no. 1, p. 9, 2017.
- [11] “DESAIN, ANALISIS, DAN FABRIKASI ANTENA MICROSTRIP SLOT ARRAY UNTUK SPESIFIKASI SURVEILLANCE RADAR PADA FREKUENSI S-BAND.”
- [12] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*. Hoboken: Wiley, 2012.
- [13] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.
- [14] Y. Wang, J. Wu, W. Chen, and Y. Wang, “Design of a UHF Antenna for Partial Discharge Detection of Power Equipment,” *Journal of Sensors*, vol. 2014, pp. 1–8, 2014.
- [15] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, *High voltage engineering: fundamentals*, 2. ed., reprint. Amsterdam: Newnes, Elsevier, 2008.

RIWAYAT HIDUP



Baasith Akbar Felayati lahir pada tanggal 17 juni 1996 di Bekasi, Jawa Barat. Anak kedua dari dua bersaudara menyelesaikan pendidikan dasar di SD Bani Saleh 5 kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 18 Bekasi dan menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2014. Setelah tamat SMA, penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) mengambil prodi teknik sistem tenaga. Saat kuliah, penulis pada tahun kedua mengikuti BEM ITS sebagai staff

hubungan luar dan pada tahun ketiga diamanai menjadi asisten dirjen hubungan luar BEM ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email akbarbaasith@gmail.com